

רוח נאים של אברהם ים

על חייו ומחקריו של אברהם כוגן
מחלוצי המחקר היישומי בישראל

כתיבה ועריכה	רבקה בן ארצי
כתיבה ועריכה מדעית	מאיר כוגן
עריכה לשונית	אלישבע בן שחר
עיצוב וכריכה	אלישבע ריצ'מן <i>אשחר & ותקין</i>

לתגובות ויצירת קשר

rivkaeba@gmail.com

© 2010 הזכויות בצילומים ובמובאות המצוטטות שמורות ליוצרים

מהדורה ראשונה

אלול ה'תש"ע

נדפס בישראל, ה'תש"ע

PRINTED IN ISRAEL 2010

בפרקי הספר הבאנו ממהלכי חייו של אבא ומנושאי מחקריו. אלו כְּאלו מנותבים היו אל מטרתם, ונישאו על כְּנפיה של רוח גדולה.

תוך עיון בכתבים ובשרטוטים, פגשנו שוב בדרכים רבות את החכמה, הפשטות היצירתית, הישרות החוצבת דרך גם במקומות סבוכים, הסבלנות ארוכת המבט, טוב הלב, הענווה המחויֵּכת.

אהבה רבה שיקענו, אמא, מאיר ואנכי, בדפים אלו. אהבה לאבא ולכל מה שהיה עבורנו.

שבעה פרקים בספר: **מנקרת הצור להר הצופים**, פותח בציון יום עלייתו ארצה בחשוון תש"ה, ומתאר את תקופת לימודיו עד כסלו תש"ח (כ"ט בנובמבר). באותה עת נפסקו הלימודים התאורטיים על הר הצופים, והסטודנטים למדעי הטבע החלו לדפדף בספרים ולחפש שיטות מעשיות לייצור אמצעי לחימה. **חיל מדע** שהוקם אז מטעם ההגנה, עסק בפיתוח וייצור כלי נשק. אבא שירת בחיל כקצין מחקר. **הקמת הפקולטה לאוירונאוטיקה** היתה חזון נועז ם שהצליח מעל ומעבר לכל תחזית. הבאנו מדבריו על התובנות שהביאו להקמת הפקולטה ולכווני התפתחותה. שלושים וחמש שנות **הוראה** מיוצגות במכתבי תלמידין, בוגרי הפקולטה. בפרק **מחקר ופיתוח** מבט על חמישה מתחומי מחקריו: שיטה לניצול אנרגית הרוח בערבה, מתוארת במאמר שכתב. חקר השכבות התרמיות באוקינוס כמקור אפשרי להפקת אנרגיה, מיוצג במכתבים, שכתב אלינו בתקופת שהותו במכון SERI בקולורדו. מאיר כתב על שלושת תחומי המחקר העיקריים: התפלת מי ים, הפקת מימן מפירוק מים באמצעות אנרגית השמש, ופירוק מתאן באמצעות אנרגית השמש. בפרק הששי ם **מן המיצר לנקרת הצור** החזרנו מבט לתקופה שלפני עלייתו ארצה, והבאנו בלשונו את סיפור קורותיו בימי השואה. בפרק השביעי, **מפגשים**, עולה ניגון ממכלול דברים שכתבו ואמרו בני משפחה וחברים.

תודה מלב לאמא, למאיר, לחיה, לדוקי ולילדים כולם, על השותפות והעזרה לאורכה של השנה. לאלישבע חנניה ונתאי, שביתם הפך להיות בית היוצר לעיצוב הספר בכל שעות היממה. ללוני, ולעדי על ההזדהות. לאליהו אשכנזי, מיכאל ויקטור ודן ציוני על הסיוע הלבבי. ליגאל תלמי, ירי רימון, רומן רקובר וחנן לוי עבור הצילומים. לתנה להבי, מיכל קלנר, חנה קליין ושרה שטרן על ההשתתפות. לשלום נידם, רבקה טולדו, תמר דויטש, איציק ראובן, וחנה נודלמן ולכל אנשי מחלקת הצילום של מכון ויצמן, שפגשו אותנו בחום שהיה שמור עמם עבור אבא.

רבקה

ירושלים, י"ט באלול תש"ע



7

מפגשים

221



6

מן המיצר לנקרת הצור

183



5

מחקר וביתוח

איש המחקר והביתוח

רוח בערבה

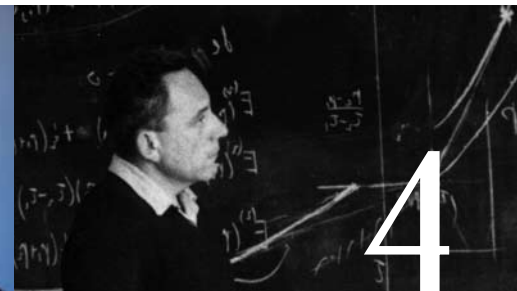
המתקת מי ים

שכבות תרמיות באוקינוס

הפקת מימן ממים באנרגיית שמש

פירוק מתאן באנרגיית שמש

91



4

הוראה

מכתבי סטודנטים

73



3

הקמת הפקולטה לאוירונאוטיקה

נקבות הרוח

45



2

חיל מדע

27



1

מנקרת הצור להר הצופים

7

1



מנקרת הצור להר הצופים

נקרת הצור

הרכבת האטה את מסעה ונבלעה במנהרה חצובה בסלע. אור היום בקרון חשך באחת. באנחת מנוע נעצרו הקרונוט במעבה ההר לדקת דומיה: דרך ארוכה הותירו אחריהם. ממעל לתקרת המנהרה התנשא צוק אבן לבן, קרני שמש החזירו אור מאינספור רסיסי מים. להק שחפים התרומם על כנפיו למראה התגלותה האצילית של מרכבת הברזל. מבעד לחלון נגלו לעיניו כתובות, שנרשמו על גבי קיר המנהרה באותיות עבריות. גם אם לא הצטרפו לכדי אמירה שיש בה מגודל השעה, ודאי הפעימו את לבו והפיחו בו רוח חיים. כתקיעת שופר נשמע כעבור רגע שאון הקטר ושורת הקרונוט נעה על גבי הפסים. כהרף עין בקעה הרכבת בעברו הארץ ישראלי, הפתוח למרחב, של ההר.

ראש הנקרה | כ' בחשוון תש"ה | 44. 11. 6



בן עשרים ושלוש שנים היה כשנכנס בשער הצפוני, הצר, של ארץ ישראל המנדטורית. הוא אצר בשנותיו אלה ילדות משפחתית חמה, נעורים בצל האנטישמיות בקישינוב עיר הולדתו, שנקראה כבר אז 'עיר ההריגה'. לימודים בבית הספר 'מגן דוד', בו נלמדו כל מקצועות החול והקודש בעברית. חברות ב'חֶשְׁמוֹנָה' - תנועת נוער אפוליטית שהקים עם חבריו. לימודי מתמטיקה ופיזיקה משך שנה בודדת, תחת המגף הרוסי. נופי העיר צ'רנוביץ, בה למד אותה שנה, שהפכו להיות נופי הגטו. היער, הסמוך לאוניברסיטה, בו הסתתר. מחנה כפיה ראשון. מחנה כפיה שני. מחנה כפיה שלישי. שבוע ימים בעליית גג בעיירה טיקוטש. ניסיון בריחה ראשון שלא צלח. הבריחה מהמחנה. הכשרה בבוקרשט. המפגש המרגש עם יצחק אחיו, שהיה חייל בצבא האדום ומסע ההעפלה לארץ ישראל.



שער העלייה

לפני שעה קלה ירדו מהרכבת הצבאית, האור שפגשו מחוץ לקרון היה מפתיע, שונה מכל מה שהכירו. על מנת להיטיב לראות האהיל בידו על עיניו, עיני שקד כחולות. עם יתר חבריו למסע עבר לצד שולחן עמוס ניירות, שפקיד ארץ ישראלי היה רכון עליהם. 'מה שמך?' 'היכן נולדת?' 'האם יש לך קרוב ומודע בארץ?'

כאן כבר לא היה צורך בשם המושאל. הסרטיפיקט המזויף שקיבל לצורך המסע נאסף בידי הפקיד. אולי זכתה אותה פיסת נייר לשאת תמונה חדשה, אולי הביאה יהודי נוסף בשערי הארץ, שמנועלה ניתן בידי מלך אביון.

'שמי אברהם כוגן, נולדתי בקישינוב, ולא ידוע לי על קרובי משפחה בארץ ישראל.' תוך כדי שהשיב, התבונן באותיות העבריות שיצאו תחת קולמוסו של הפקיד. 'יסלח לי כבודו, אני סבור שאת שמי יש לכתוב בכ"ף - כוגן - ולא בקו"ף. אנחנו משפחה של כהנים, כהנא היה שם משפחתנו. הרוסים שסיפחו את אזור בסארביה, ולא הצליחו להגות את הה"א בטאו גימ"ל במקומה. כך יצא שבדורות האחרונים הכירו אותנו בשם 'כוגן'. בבקשה כתוב נא את שמי כ"ף וא"ו גימ"ל נו"ן.' הפקיד ראה לפניו בחור צעיר, דובר עברית שהיתה נמלצת מזו השגורה בארץ. אולי לא היה פנוי להקשיב, והכריע בתקיפות על פי מה שכבר כתב: 'קוגן'.

לא רציתי להתווכח, והשם נרשם באופן רשמי בקו"ף. למעלה מעשור מאוחר יותר, כשכבר הייתי בטכניון, התארגנה משלחת מטעם המדינה. היתה עדיין ה'אהבה' הגדולה עם צרפת. צירפו אותי למשלחת, ואמרו שעלי לגשת למשרד הפנים ולקבל פספורט דיפלומטי.

שוב עמדתי בפני פקיד, אמנם הפעם לא של הסוכנות שלפני קום המדינה, אלא של משרד החוץ של מדינת ישראל. הוא אומר לי: 'אתה צריך לעברת את שמך.' באותה תקופה, בעקבות דרישת בן-גוריון, אי אפשר היה על פי התקנות לצאת לחו"ל בשליחות המדינה, אלא אם נשאת שם עברי.

לא עלה על דעתי לשנות את שם בית אבא. סירבתי. 'עד כמה שידוע לי כוגן הוא שם עברי, כהן. הרוסים לא יודעים לבטא ה"א... דווקא בשם 'כוגן' ישנה מזכרת ש'מדברת', וכך זה צריך להשאר. אני רוצה שהנכדים שלי ידעו שאני כהן, שידעו שאני יהודי שהגיע דרך רוסיה. מישהו אחר הגיע בדרך אחרת.

'אם כך אינך יכול לקבל את הדרכון ואינך יכול לצאת עם המשלחת.' 'סע אתה' אמרתי 'אני לא נוסע.' הגענו כמעט למבוי סתום, כשעלה רעיון בדעתי. 'למעשה אתה קצת צודק' אמרתי לפקיד. 'בוא נעברת את השם לצורתו הנכונה: נכתוב כוגן כמו כהן בכ"ף, במקום הקו"ף של הפקיד משער העלייה.' וכך עשינו.



משאת נפש

הצנחנים שפגשנו בבוקרשט, שייקה דן ומנו בן אפרים, שלחו אותנו לקיבוץ דליה. היו בין החברים אנשים שהגיעו ממולדובה, היו מוינה. באותה עת לא ידעתי עדיין היכן אחי, ואם נותרו בחיים. לא ידעתי מה עלה בגורל אחותי ובעלה ששולחו לטרנסניסטריה. לא היה לי מושג אם יש לי משפחה. כאן קיבלו אותי, התחברתי עם האנשים ואהבתי את העבודה. נטעתי עצים, שיבצו אותי בשמירה על המשק, הייתי אחראי בכל בוקר על הדלקת הגנרטור והיתה מחשבה שאשאר.

על הכווננית היו מונחים ספרי לימוד במתמטיקה, ספריו של החבר פאול, שהספיק לסיים קורס ג' באוניברסיטת וינה. בצו התנועה עזב את הלימודים ערב מלחמת העולם, עלה ארצה והיה ממקימי קיבוץ דליה. הייתי שואל ממנו ספר, מנסה לקרוא בו, ללמוד. בחדר של פאול בקיבוץ גיליתי מושגים שכלל לא ידעתי שהמתמטיקה הגיעה אליהם. דברים מאוד חריפים.

בשלהי חשוון הגיע לקיבוץ, הישר משער העליה, ובתוך ימים ספורים החל להתעניין באפשרויות לימוד באזור. על גבי משאית שיצאה מהקיבוץ נסעתי לחיפה, וניגשתי למשרדי הטכניון. הבאתי אתי את פנקס הלימודים מקורס א' בצ'רנוביץ. המזכירה עיינה בתעודה, 'הציונים גבוהים, תוכל להתקבל ללימודים כאן. שכר הלימוד הוא ארבעים לירות לשנה.' לי היו רק עשר אגורות, כבר אינני זוכר אם היה בהם חור... והבנתי שהמוסד הזה סגור בפני. במסגרת חופשה של שבוע שהיתה חלק מזכויותיו של כל עולה חדש, נסע לכנרת שם גר חבר נעורים שעלה ארצה לפני המלחמה. משבוע ראשון זה של מסע ומבט חופשי על הארץ, נותרו יומיים. חשבתי שאגש לירושלים, לראות איך דוניו זידמן מצליח ללמוד שם.

דוניו זידמן היה בחור עדין, צנום וחלש מאוד, שהיה אֶתנו במחנות הכפיה. קול נפלא היה לו, היה שר יפה ואהבנו אותו. העבודה היתה קשה עבורו במיוחד, הוא לא היה מצליח להשלים את המכסה ועל כך היו מכים אותו. השתדלנו לעזור לו, עשינו חלק מהעבודה במקומו. והנה הבחור הזה הגיע ארצה ולומד באוניברסיטה בירושלים. פלא היה בעיני איך הוא מסתדר, הרי גם לו אין קרובים כאן. הגעתי אליו ושאלתי: 'דוניו, איך אתה לומד פה?' והוא עונה לי: 'אתה רוצה ללמוד? בוא, אקח אותך לאסתר, האחראית על הנקיון.' נתנו לי דלי וספונג'ה, ואמרו שאצטרך לעבוד כל בוקר ארבע שעות, ואחריהן אוכל ללמוד ארבע שעות.

חזרתי לקיבוץ, ולא ידעתי איך אומר להם...

אבל סוף סוף אזרתי עוז ואמרתי שאני עולה לירושלים. ראיתי, שהם בעצם חיכו לזה, שמו לב כבר קודם שיש לי ה'נגיף' הזה, שאני רוצה ללמוד מתמטיקה, והבינו שלא אשאר בקיבוץ. נשארנו חברים. מדי פעם אני נכנס לשם לראות איך הכול מתקדם, הם מייצרים שעוני מים וחומרי ניקוי. מקום יפה.

לאורך השנים, היה משלב את קיבוץ דליה בסוירים שערך לקרובים וחברים שזה מקרוב באו ארצה, ועתיד היה, בהפרשים של שלושים שנה, למצוא את עצמו בשערי הקיבוץ בעוד שני הקשרים משמעותיים.

הראשון מהם, בתקופה בה פיתח את מחליף החום במתקן ההתפלה. כמרכיב בהעברת חום המים נעזר בכמויות גדולות של פתיתי פלסטיק שהיו מיוצרים במפעל בדליה. היה קונה שקים

מהחומר, ומעבירים במכוניתו לתחנת הכוח במפרץ חיפה לצורך הניסויים, שנערכו בקנה מידה חצי חרושתי.

המפגש הנוסף התקיים כעבור שלושים שנים נוספות, כאשר ביקש לפגוש את משפחתה של האישה, שנתנה לו מחסה בעליית ביתה במהלך ניסיון הבריחה ממחנה הכפיה.

בתשס"ג נסעתי בענייני עבודה לחו"ל. כשחזרתי ניגשתי למשרדי מכון ויצמן להסדיר את הוצאות הנסיעה. בדרך כלל ישב שם אלי, הפעם לא היה במשרדו ואמרו לי לגשת לעדינה. היא בדקה את הניירות וסיימנו באופן מקצועי את החשבון. לפני שהלכתי ביקשתי להודות לה, ואיכשהו בתוך התודה השתרבבה מלה באידיש. שמת לי לב שהיא הבינה וגם השיבה בביטוי שצלצל לי כמו האידיש מהמקומות שאני מכיר. 'את מבינה אידיש! מהיכן את?' - 'מרומניה' - 'היכן ברומניה?' - 'מטיקוטש'. את המקום הזה אני מכיר, וכך סיפרתי לה על רגל אחת, איך הייתי שם בטיקוטש. אמרתי, שאני אפילו זוכר את שמה של הגברת צירקוס שנתנה לי מחבוא בבוידם שלה. 'צירקוס' - היא אומרת - 'אני שמעתי את השם הזה אצלנו במשפחה'... ביקשתי שתנסה לברר. אִמה זכרה אמנם את השם אך לא ידעה פרטים, אבל הדוד מנתניה... כעבור עוד שבוע כבר נתנו לי את הכתובות ; משפחת הבן גרה בנהריה והבת עם משפחתה בקיבוץ דליה.

על ציר הסיבוב של ההסטוריה

בקישינוב עיר הולדתו לא היתה אוניברסיטה ראויה לשמה. היו אך שתי פקולטות, חקלאות ותיאולוגיה. בצ'רנוביץ לעומת זאת אפשר היה ללמוד גם כימיה, פיזיקה ומתמטיקה. לכן בגיל שמונה עשרה, אותו חצה בשנת תרצ"ט (39'), נסע לראשונה מבית הוריו לצ'רנוביץ, שם הספיק ללמוד משך שנה אחת. שנת לימוד בודדת זו התקיימה תחת שלטון קומוניסטי שזה עתה החליף לפרק זמן קצר את השלטון הרומני. העין הפקוחה של 'האח הגדול' היתה שם. היה גיוס תלמידים לקומסומול. השלטון הקומוניסטי הטיל אימה בכול. היו סטודנטים שנעלמו באישון לילה והועברו לסיביר, בשל השתייכותם לתנועות נוער בעלות גוון אידיאולוגי כלשהו. אסור היה להיות מזוהה עם לאום מסוים, אסור לשמור על מסורת אבות, אסור להיות ממשפחה אמידה. ובכלל אסור להיות...

בחופשת החורף עוד הגיע לביקור אחרון בקישינוב. המלחמה כבר התנהלה בפולין, והעננים נראו באופק הקרוב. בסיומה של השנה פרצו הגרמנים ושטפו את האזור, העולם כולו נסוג נסיגה אחר נסיגה. ציר ההסטוריה הסתובב, ויחד עם האנושות כולה נכנס למנהרת הזמן האפלה ביותר שבכל הזמנים.

עתיד היה להחזיק טובה למורים מהם למד בקורס א' בצ'רנוביץ, שהונחתו לחניה זמנית בכתות הלימוד בכורח השינויים ההסטוריים:

היו לנו כמה פרופסורים סימפטיים שהיו מגיעים מקייב. הרוסים השתלטו למשך אותה שנה על האזור, והיו מעוניינים שהאוניברסיטה בצ'רנוביץ תמשיך לפעול. מאחר ומורי האוניברסיטה ברחו כבר קודם לכן עם הרומנים, היה סידור לפיו פרופסורים מקייב לימדו לסירוגין: היו מגיעים אלינו למשך שבועיים, ושבועיים היו מלמדים שם. כך קיבלנו את המורים הכי טובים במתמטיקה.

עוד הספיק לקבל תעודת ציונים בסיום השנה, ואילו היה העולם כמנהגו נוהג, היה זכאי לקבל מלגת הצטיינות ולעבור לאוניברסיטה טובה בפנים רוסיה.

הפיזיקה של שיבת ציון

כאשר הגיע לירושלים, באביב תש"ה (45'), מלאו עשרים שנה לאוניברסיטה העברית. חולמיה ומייסדיה ביקשו שתהיה מרכז חכמה יהודי. קיוו שתהיה אבן שואבת לאנשי מדע יהודים גדולים ששמעם נודע בעולם, ומקומות מושבם בארצות ובערים רבות. כנגזרת מחלום שיבת ציון הכללית, היו מרכיבים בחלום שנראו בלתי מציאותיים. במידה וחשבו על דרכים מעשיות למימוש הרעיון, ודאי לא יכלו לשער את אלו שאכן יתגשמו במציאות.

במחלקות למתמטיקה ולפיזיקה לימדו באותן שנים, ערב הקמת המדינה, אנשי מעלה. בהתבוננות על רשימת המרצים, אי אפשר שלא להשתאות נוכח הכוחות המדעיים, רבי היכולת וההשראה, שהתקבצו בכתות הלימוד הקטנות בירושלים. כמעט כל אחד מהסגל האקדמי היה פורץ דרך ומוביל בעל שם בתחום מחקרו. רובם הגיעו ארצה כשהם כבר טעונים שיטה וידע.

פרופ' מיכאל פקטה הגיע מהונגריה, פרופ' בנימין אמירה ממוהילוב שבאוקריינה, פרופ' אברהם הלוי פרנקל עלה ארצה מגרמניה ופרופ' יואל רקח מפירנצה שבאיטליה. גם את מרחב הידע הביאו עמם מאוניברסיטאות ברחבי העולם. כחלק ממהלך הסטורי אדיר ממדים הגיעו לארץ ישראל, וראו עצמם שייכים לדור ולשעה הנדירה בה זכו לחיות.

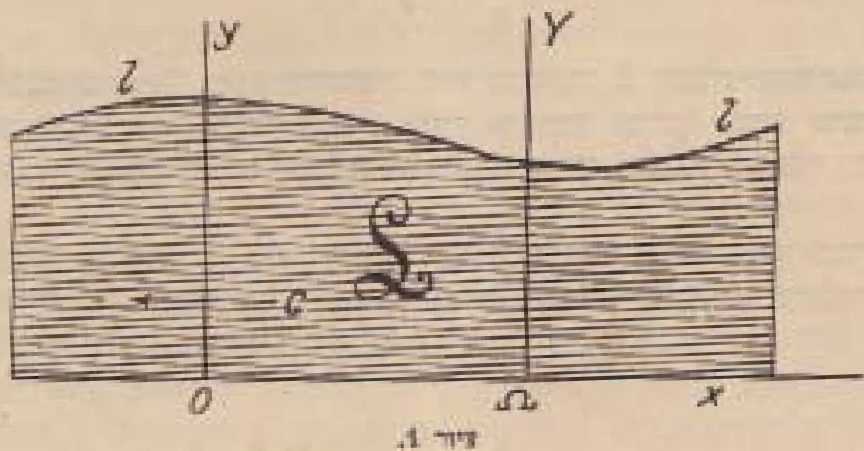
כיהודים וציונים חמים, ביקשו לתרום במסגרת האוניברסיטה, בתחום המדעי ובתחום ההוראה. בכ"ט בנובמבר היתה תזזזת ציר הסיבוב ההסטורי מוחשת, והם נדרשו יחד עם תלמידיהם לתחום הבטחוני. גם מי שעסק במתמטיקה תאורטית גבוהה כפרופ' יואל רקח, היה מגויס להגנה, ופיתח עם הסטודנטים אמצעי לחימה, במעבדות האוניברסיטה.

מהירות החובלה בתנועה נלית תמידית*.)

פ. לוי-טשויטש, חסא.

תרס"ג שלם, פרינציפ.

1. הרקפיריטיקאות תנועתיות סיוחדות. — נתאר לנו תעלה ישרה, שקרקע כמות דפנותיה אנכיים. כשנתנעת חמים סקבילה לשפות התעלה ובהשאר אמת עצמה בכל החתכים שבאורך התעלה, זאת אומרת: בדיוטות האנכיות השונות הסקבילות לשפות, — לסוד התופעה הזאת אפשרי בשני נדלים, כעסקנו, כטובן, בחתך אנכי כל-שחוא.



הקרקע תוצג בקו כמות z , ופני חמים כקו l פחות או יותר עקלקל ובכלל כשתנע על ידי הזמן. ידוע לפני, כי לסקרה שכוח קוראים: תנועה נלית תמידית, תנועת חים שכוח אשר: a פני חמים l (ביחס לספתבל קבוע) נראים כנעים סבלי שנות את צורתם (כאילו היו כחצקים) לאורך התעלה, כמחירות השוכה c , — ובאמת

* הרצאת, שהוצגה חסובר בכנסיה בינלאומית של חסטי והינדוויטיקה, שנקראה ספעס חסרופ (Innsbruck, 6 — 10 Sept. 1922) Th. v. Kármán.

בין חולמיה של שיבת ציון המדעית היו סבא שלנו עמנואל וליקובסקי ואביו שמעון יחיאל. ביוזמתם, בהונם הפרטי ובשנות עבודה שהשקיעו, הוציאו לאור שני קבצים מונומנטליים בשם 'כתבי האוניברסיטה ובית הספרים בירושלים': 'קדם ויהדות' ו'מתמטיקה ופיזיקה'. מתוך כמיהה לכנוס את הגניוס היהודי הפזור ולאחדו תחת השם 'ירושלים', נאספו מאמרים מדעיים מידי גדולי אנשי המדע היהודים של התקופה. בין המשתתפים היו אלברט אינשטיין, יחזקאל לנדאו, הרלד בוהר, גינו לוריא ואברהם הלוי פרנקל. כל מאמר הובא בשפת המקור בה נכתב, ובתרגום לשפה העברית. 'מאין טרמינולוגיה עברית קבועה למדעים המדויקים לא היינו רשאים לנעול דלת בפני חידושיהם של המתרגמים, והוא הדין בדבר אופן כתיבתן של הנוסחאות' — נאמר בשם המערכת. הכרכים נדפסו בבית דפוס מיוחד — שהתמודד עם כתיב עברי, משוואות מתמטיות וסימני כתב הרוגליפיים.

ארבעה מתוך שניים עשר המאמרים הכלולים בכרך 'מתמטיקה ופיזיקה' עסקו באוירונאוטיקה תאורטית. במאמר 'שורשי המחקר האוירונאוטי' מתיחסים ברוך ואביב רוזן ל'כתבי האוניברסיטה': 'תחילתו של המחקר האוירונאוטי בישראל בקובץ פרסומים תאורטיים איכותיים הקשור להקמת האוניברסיטה העברית בירושלים, שהופיע בשנת 23'. המדענים שתורמו לקובץ מרשימים הן במצוינותם באותה תקופה והן בהשפעתם על המדע. עורך הקובץ המתמטי היה אלברט אינשטיין. האוסף כונס וסודר על ידי עמנואל וליקובסקי, שהתפרסם מאוחר יותר כשפיתח קוסמולוגיה ייחודית. שמעון וליקובסקי, אביו, מימן את הוצאת הקובץ.

ממול עמוד ממאמרו של לוי טשויטש שנדפס בכרך 'מתמטיקה ופיזיקה' של 'כתבי האוניברסיטה'. לוי טשויטש היה מתמטיקאי שהפנה את מאמציו לפתרון בעיות שונות במכניקה. מחקריו במתמטיקת הזרימה משמשים עד היום באוירונאוטיקה תאורטית. בשנת '38 הורחק מאוניברסיטת רומא בשל יהדותו.



תעודת הסטודנט של האוניברסיטה העברית נושאת התאריך ה' באייר תש"ה

הכרתי את אברהם בסוף תש"ה (54'). היינו קבוצה קטנה של סטודנטיות בפקולטה למדעי הטבע שעל הר הצופים. לאחר החממה של התיכון, הגענו לכיתות של הפרופסורים פרנקל, אמירה ואחרים, ופשוט לא הבנו על מה הם מדברים. בכתה היה סטודנט מבוגר מאתנו, עולה חדש דובר עברית צחה, שהיה מוכן לסייע. אפשר היה לפגוש אותו בשעות הבוקר המוקדמות, בבנין הכימיה, שם עסק למחייתו בשטיפת רצפות. עם מאור הפנים שלו, היה עוזב את הסמרטוט והמגב ובתשומת לב רבה מסביר לנו את מה שלא הצלחנו להבין בשיעורים.

פרופ' יהודית בירק

על פסגת הר הצופים

למרות המתח הרב שהיה בארץ, התנהלו השיעורים על הר הצופים כסדרם. עם שהיה ער לכל המתרחש, שמח מאוד על האפשרות לחזור וללמוד. אהבת המדעים המדויקים שהיתה טבועה בו התכנסה בשנות המלחמה, ויכולה היתה רק להציץ מן החרכים: על תעודת הזהות שנשא עמו מקישינוב, רשומות משוואות בכתב עפרון צפוף, מן הסתם נכתבו בזמן שלא היה מצוי בידו נייר אחר. במחנה העבודה חישב יחד עם חבריו באופן הנדסי, את כמות האבנים העודפת שחויבו לספק כל יום מעל המכסה הרשמית. החשיבה הפיזיקלית הועילה לו ואף סייעה לחבריו בבירית זויות ההכאה באבן, במחצבה בה שועבד. וכעת זכה להיות שקוע בלימוד, למלא באוצרות של ידע וחשיבה מדעית את משאת נפשו.

בתש"ו התגייס להגנה במסגרת החי"ש (חיל שדה). אחרי ה'השבעה' בקולנוע אוריון, למדו בשעות שאחרי הלימודים פיזיקה סטן לחלקיו בהדרכת יעקב פת. הלימוד התקיים בכתות האוניברסיטה. אחרי התרגול ה'יבש' הורדו לים המלח, לקיבוץ בית הערבה. **יצאנו למדבר, לעין פשחה. נכנסנו פנימה בין הסלעים, לוואדי סגור, מחוץ לעינים הפקוחה של הבריטים, שם התאמנו בירי למטרות.**



מימין לשמאל: יחיאל לרר, אברהם כוגן, טוביה רותם (נדל)

באותם ימים היתה האוניברסיטה בהר הצופים בנויה משני צידי הכביש, המוביל משיח ג'ראח לאוגוסטה ויקטוריה. מצד צפון של הכביש מדעים מדויקים: מתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה, ומהעבר הדרומי של הכביש מדעי היהדות, פילוסופיה ושפות.

באוניברסיטה היתה באותה תקופה אירה מיוחדת, משפחתית. במחלקה למתמטיקה היינו קבוצה קטנה, רק כעשרים סטודנטים. היינו מצטרפים לפעמים לקורסים של שנה אחרת. היו פרופסורים אחדים שהיו מזמינים אותנו לסמינר בביתם, מקרבים את התלמידים על כוס תה ועוגה. אחד מהם היה פרופסור מוצקין, בנו של מוצקין הידוע בתולדות הציונות. היינו מגיעים לביתו שברחביה, ואני זוכר שאת הדלת פתח לי בנו, ילד בן אחת עשרה, כשסרגל חישוב בידו.

פרופסור פרנקל היה מתמטיקאי דגול, מאבות תורת הקבוצות. הוא פיתח דברים יסודיים ביותר בבסיס המתמטיקה. היה יהודי דתי, חובש כיפה, והיה מזמין סטודנטים עולים. אותי כעולה חדש הזמין לערבי שבת, והייתי מתארח אצלו.

כל תלמיד בחר חוג ראשי ושני חוגים משניים. היות ולי היו כבר מעט לימודי מתמטיקה ופיזיקה קודמים, רציתי לגוון ובחרתי כמקצוע משני ספרות צרפתית.

החברים בכתה היו רובם 'צברים'. היו גם עולים חדשים כמוני, ולמרות שלמדנו מקצועות שונים, היינו כחבורה אחת. בתקופה הראשונה גרנו במעון עולים שצויד במיטות סוכנות, בבית דוקומתי ברחוב החבשים.

2



חיל מדע

חיל מדע

בכ"ט בנובמבר, כסלו תש"ח, היה הישוב כולו צמוד לגלי הרדיו שהגיעו מעבר לים. למחרת ההכרעה באומות המאוחדות התחילו המאורעות, שנמשכו אל תוך מלחמת העצמאות.

באותה עת כבר לא למדנו. כלפי חוץ העמדנו פנים כאילו הלימודים נמשכים, האוניברסיטה מעולם לא הכריזה על הפסקת הלימודים. למעשה גויסנו לשמירה על הר הצופים. לפעמים שמרנו מעמדות חלון בבנין רחנבלום, שהיה אז עדיין בבניה. היינו משגיחים שהערבים משייח ג'ראח ומוואדי ג'וז לא יגיעו והיו קצת חילופי יריות. היינו סגורים שבועיים למעלה על ההר, יורדים עד מעבר לשבת וחוזרים למעלה להר הצופים. במקביל היו מחשבות מה נוכל לתרום למאמץ המלחמתי. כסטודנטים במדעים המדויקים, חיפשנו בספרות איך מיצרים מטען חלול שיוכל לחדור שריון, איך בונים תותח ללא רתע וכיוצא באלו. ניסינו לפתח אמצעים.

מי היינו שם? סך הכול סטודנטים מקורס ב', קורס ג', קורס ד' שידעו את החוק הראשון והשני... קצת פיזיקה שהספיקו ללמוד, והיו המדריכים שלנו. מאוד בלטו אז האחים קצ'לסקי (אהרון ואפרים קציר), שהיו כעין חוליה מקשרת בינינו לבין מוסדות הישוב. מהסוכנות היו מעבירים להם את הגדרת הבעיה הבוערת: על מה צריך לחשוב, מה חיוני לפתח.

אני מספר את זה כי זה אינטרס הסטורי פשוט של מלחמת תש"ח. איך נלחמנו אז, איך עשו דברים, איך הם צמחו. הוותיקים ביניכם זוכרים את הימים כאשר הבריטים החליטו שהם כבר יוצאים, אבל הם עדיין ישבו פה. הם היו בעלי הנשק, וכולם מסביב היו ערניים, כאשר הבריטים יצאו מכל נקודת אחיזה חשובה, מי יכנס אליה ראשון, מי יקח את הנשק...

זו היתה תקופה מאוד מתוחה. בתחילת החורף של 48' היו כמה מעשי חבלה שנעשו על ידי בריטים, באופן פרטיזני: קצין בריטי לקח משאית מהצבא הבריטי, העמיס חמש מאות קילו TNT, ירד מאוגוסטה ויקטוריה דרך האוניברסיטה שבהר הצופים, דרך שייח ג'ראח נכנס העירה ופוצץ את המשאית ברחוב בן יהודה.

כמה ימים אחרי התחלת המלחמה ארגנתי קבוצה של עשרים סטודנטים, מתלמידי השנים האחרונות לכימיה, שהשתלמה בקורס של כימיה צבאית ונכנסה לעבודתנו בלב שלם. אליהם נצטרפו כעבור כמה זמן סטודנטים נוספים לכימיה ונוסדה קבוצת סטודנטים לפיזיקה. כל הקבוצות האלה עשו שירות רב ערך והוכרו על ידי הפיקוד העליון כראויים להוות פלוגה של חיל מדעי מיוחד (חמ"ד). יחידות החמ"ד מגויסות בגיוס מלא ומקימות מעבדות וסדנאות בסביבות תל אביב, ירושלים וחיפה. ההתעוררות שחלה עקב עבודתם של הסטודנטים והמפנה שחל באוניברסיטה דחפו אלינו את מרבית הסטודנטים והאסיסטנטים. סיפרתי על עבודתנו והצעתי להם לקבל נושאי מחקר בתחומים שונים בהתאם למקצועותיהם. כל הנוכחים קבלו על עצמם לשרת את ההגנה ועתה מתנהלת העבודה בכל מחלקות האוניברסיטה, אם גם הקשיים הירושלמיים אינם מאפשרים לנצל את המוסד במלוא היעילות. במשך תקופה קצרה נצטרפו לעבודה גם עובדי רחובות המכון, התחנה לחקר החקלאות של הסוכנות היהודית וחלק ניכר מעובדי הטכניון.

אהרון קציר | מתוך מכתב לאחיו אפרים | חורף תש"ח



היו שם בנינים של שש קומות שניזוקו. נהרגו ארבעים ושבעה אנשים, זה היה אסון נורא. פעם נוספת הכניסו מטען דומה לחצר המוסדות הלאומיים, גם שם היו הרבה הרוגים, זו היתה דאגה עצומה. ההגנה החזיקה את הנשק בסליקים. היו מוציאים נשק רק בשעה שמוכרחים, שמא יוחרם על ידי הבריטים.

באותם ימים התארגנו בהר הצופים הסטודנטים יחד עם הפרופסורים של המחלקות מצד שמאל של הכביש: מדעי הטבע, פיזיקה, כימיה, כימיה פיזיקלית. זו היתה ההתחלה של חמ"ד. הסטודנטים, המדריכים שלהם והפרופסורים - יחד.

אהרון קצ'לסקי כינס אותנו באולם הפיזיקה. אז נראה היה בעיני אולם גדול. אחרי ששת הימים באתי ונוכחתי עד כמה קטן היה... נכנסנו בו אז כארבעים איש. הוא אסף את הסטודנטים, תיאר את הפיגועים האחרונים של הבריטים וזרק רעיון לפיתוח: אם יכולנו לייצר מוקש, שקל לפרוש אותו למקרה שמגיעה ידיעה מש"י (שירות ידיעות) שהבחינו בבריטי יוצא עם משאית חשודה. היה צורך במוקש שאתה מניח על הכביש מבלי לחפור באספלט, שיהיה מחובר למטען חבלה בצד הדרך. אם נחליט שהרכב לא יעבור, הוא לא יעבור. הדרישה היתה שהמוקש יהיה גם קל להסרה. אם יגיע עדכון מש"י שהבריטי התחרט ושב על עקביו, ניתן יהיה להוריד את המוקש מהכביש בתוך דקות ספורות, לפני שהבריטים יגלו במה מתעסקים כאן.

איך עושים את זה? אני זוכר שישבו שם כמה אנשים מוכשרים והעלו רעיונות. אחד מהם היה יחיאל לרר, שעשה באותה תקופה דוקטורט בפיזיקה אצל פרופסור רקח. כשהוא שמע את הדברים אמר: לו יכולנו לייצר שורה של מגעים חשמליים, במרחק עובי צמיג - על אחד מהם המכונית כבר תעלה, והמטען יופעל. הרעיון נראה לי, ואמרתי, אדרבה אנסה. לקח חודשיים, ועד סוף פברואר '48 היה בידינו פרוטוטיפ של המוקש. קודם כל חקרתי איך המכוניות נוסעות. בצד ימין, בצד שמאל או באמצע. לפי סטטיסטיקה הבנתי שאני צריך חמישה מגעים במרחק שניים עשר ס"מ זה מזה. הרכב יעבור או עם הגלגל האחד או עם הגלגל השני.



את המגעים הקטנים האלו היינו חייבים להסוות. טבלנו אותם בזפת ובחול עד שנראו כמו אבנים קטנות וביניהם חוטי אלקטרוניקה דקים. מישהו כינה את המגעים עטופי החול 'בִּבְלָךְ' ומאז כך נקראו המוקשים. גם את החוטים, שעוביים היה רבע מילימטר, גלגלנו בזפת ובחול ואי אפשר היה להבחין בהם. מחסני המעבדה לפיזיקה היו פתוחים לפנינו, והיו כמה ניסיונות.

פרופסור פריי, שבא מהצבא הבריטי (ולימים עמד בראש המחלקה לאלקטרוניקה של מכון ויצמן) עזר לי לפתח אמצעי זהירות אלקטרוניים, כך שהמנגנון לא יתפוצץ חלילה בידי מי שמניח את המוקש. בעיצוב הכלי ובנית הקופסה נעזרתי הרבה בטכנאי שעבד בבית המלאכה של הפקולטה לפיזיקה - אברהם קדם. לאט לאט צמחה קופסה עם מולטי־סוויץ', שאפשר היה לכוונו לחמש דרגות שונות. בעזרת נורה אדומה היה החבלן בודק את עצמו. עד שסיימנו את יצור המוקשים, הבריטים עמדו לצאת והבעיה כבר לא היתה קיימת. כך קורה לפעמים, אתה בא לפתור בעיה והיא בורחת לך. בינתיים הגיע לירושלים פלמ"חניק שעסק בחבלה, מוטקה שרוני (מאוחר יותר היה ראש האדמיניסטרציה של חמ"ד ושל אמ"ת - אגף מחקר ותכנון). הוא שמע שיש לנו מוקש שיוכל להועיל בקרבות מול הערבים. הגיע, קיבל הסבר על המנגנון והפעלתו, ואמר שארד לרחובות, שאביא אתי את הקופסה ושהוא צריך חמישים מוקשים כאלו. הורידו אותי שבועיים לפני ההתקפה על השיירה שלנו בשייח ג'ראח. ירדנו אז מהר הצופים במשוריינים. נסענו דרך רמלה, שם עוד היו יריות, והביאו אותי לסטודיו של ג'נקה רטנר, שעמד בראש אנשי חמ"ד בתל אביב. ה'סטודיו' של ג'נקה היה מקום מעניין מאוד, כל פעם הגיע ממציא אחר עם רעיונות.

איך מכינים חמישים מוקשים? הלכנו ליפו לבתי המלאכה והזמנו חמישים תבניות. קדחנו בהן חורים כדי להלביש את המולטי־סוויץ'. נחוצים היו הרבה מאוד חוטי אלקטרוניקה ו...להלחים את כל העסק הזה. ביקשתי ממוטקה שרוני אנשים מיומנים והוא הביא ארבע בנות מהפלמ"ח, בנות שבע עשרה.

הסיפור כולו לא היה בגדר האפשר
אלמלא החולמים שרגליהם נטועות
בקרקע, ומוחותיהם דרוכים לקראת
העתיד. אני מודה למזלי הטוב שזימן
אותי לקהלם.

אפרים קציר

היינו אז ברחובות, עבדנו בתוך המכון בצריפים. חיפשנו מקום בו נוכל להכין חמישים מוקשים. נתנו לי חדר במכון ויצמן, בבנין הראשון שנבנה, כיום שמו בנין זיסקין. חדר מרוהט בשולחן מסיבי ואצטבות, עדיין ללא הספרים, שהוכן עבור פרופסור פקריס, שעדיין לא הגיע. נתנו לי חוטים כמה שארצה, ארבע הבנות מהפלמ"ח ישבו שם, הלחימו חוטים ואני הדרכתני אותן בפיתוח התעשייה הזו.

באותו זמן עבד אתנו בחור בשם אנסלם לוסטיג לימים ירון, עולה חדש מפולין. הוא היה בדרך לא קטן, גם ידע לצייר קריקטורות. לקח דף נייר וצייר ארבע ילדות קטנות סביב שולחן עם צעצועים, מעליהן בחור רכון מדריך אותן. בראש הדף כתב 'גן אברהם' והדביק את הדף על דלת חדרו של פקריס.

יום אחד הביאו את הנשיא הראשון פרופסור ויצמן למכון, להראות לו מה בנו כאן לכבודו. הוא היה כבר באותה עת כבד ראיה. פרופסור ברגמן תמך בו והראה לו את הבנין: שתי קומות, כאן הפולימרים (המכשירים כבר היו שם, הזכוכיות) ופה ילמדו מתימטיקה, ופה פיזיקה, כאן הספרייה, וראיתי שהוא ממש מתמוגג. אז הגיע לדלת של פקריס, וכמו שהוא לא רואה, הוא רואה שם שלט ומשהו מצויר - 'מה כאן?' - התחילו לגמגם ולבסוף הוציא מהם שכאן עושים למען המאמץ המלחמתי. הוא רתח, זה היה בעיניו חילול הקודש: במקום של מדע טהור, שיעסקו ביצור אמצעי לחימה. הוא עצמו אמנם עשה באנגליה למען המאמץ המלחמתי במלחמת העולם הראשונה, אבל כאן...

ערב אחד הביאו ג'יפ ולקחו אותי ואת גדעון איטקין לחזית, להביא את הסחורה הזו. הגענו לחפ"ק, אחד הקצינים היה מוכר לי מקישינוב, לא הזדהיתי, רק הבאתי את המוקשים, והוא אומר לנו, 'חבל שלא באתם לפני יומיים, החזית כבר עברה את לוד, כעת הם ברמלה, קחו את הג'יפ וסעו הלאה.' רצנו לרמלה, עד שהגענו כבר לא היו גם שם. כעבור חודשים אחדים הגיע שוב מוטקה שרוני ולקח אותנו למצודת יואב. הוא סיפר שהורידו מהפסים רכבת שנסעה ממצרים וכמו כן מספר טנקים בעירק סוידאן, בקרב על נגבה, התנפצו על המוקשים הללו.



שולמית וליקובסקי כוגן (מימין), חנה כהן גולדרינג ואברהם הוס יוצקים TNT מומס על ליינרים. בידיהם קונוס זעיר שכונה 'פספוס' ועל גבי הקרקע מוצב קונוס גדול. את התצלום קבלנו מפרופ' יגאל תלמי, שעמד אז בראש קבוצת המטען החלול בחמ"ד.

מתוך דברים שאמר מויה אפשטיין במפגש באקדמיה:

כיון שנמצאים כאן הרבה נכדים של אברהם, אתן סקירה קצרה על התקופה, כדי שיבינו את הרקע.

'48 הבריטים עזבו את הארץ ומדינות ערב תקפו אותנו כאן. אמצעי הלחימה שהיו בידינו היו מאוד מאוד מוגבלים, וכנשק כבד שימשו רק מרגמות של שניים ושלושה אינץ'. תותחים לא היו.

פעילות החמ"ד באותה תקופה התרחשה בכמה מקומות. בתל אביב היה הסטודיו של ג'נקה רטנר: צריף שהוקם על גג של בית, בתקופה שהבריטים עוד היו בארץ. בסטודיו עסקו בדברים קטנים: מוקשים, מרעומים, אחר כך גם במטול נגד טנקים.

ברחובות התקיימה פעילות של חמ"ד במכון. כאן היו חנה (כהן גולדרינג) ושולה (וליקובסקי כוגן). קראנו לשתייהן CC, ראשי התיבות של קריקה קבה, זאת אומרת מטען חלול. היתה קבוצה שלמה שעבדה בנושא. שולה היתה מבשלת תערובת של TNT בסיר על פרימוס. בתוך סיר גדול היו מים ובתוכם ישב סיר קטן יותר ובו בישלו את התערובת. את חומר הנפץ המבושל היו יוצקים על ליינרים - קונוסים מנחושת, מפליז, מזכוכית, מחומרים שונים, והמטען הזה היה חודר פלדה. אני לא נכנס לפרטי המכניזם, בכל אופן על זה עבדו אז.

מקום שלישי בו פעל החמ"ד נקרא הגבעה. שם עבדו על פיאט: מטול של פגזים נגד טנקים. פעילות זו היתה בעיקר של ג'נקה. היו שם מרעומים והיו שם מרגמות...

אמנם הפיתוחים לא היו עד כדי כך סודיים שאחד לא יכול היה לדעת מה השני עושה, אבל כל אחד היה עסוק וטרוד בעניינים שלו בצורה כזאת, שיותר מדי לא ידענו.

כאשר באתי לרחובות מצאתי את אברהם כוגן וגדעון איטקין עסוקים בייצור מוקשים שכוננו 'בְּבִלְךְ'. אחר כך היה פיתוח הריא"ט (רימון יד אנטי טנקים). כשרוצים לזרוק מטען כזה ביד, צריך לדאוג שיגיע ליעד עם האף קדימה, ויעשה את החור בכוון הנכון. הרעיון של אברהם וגדעון היה להצמיד לרימון ידית חלולה, מתוכה יצאו שני סרטים. בקצה כל סרט היתה משקולת קטנה של עופרת והסרטים הללו ייצבו את הרימון, כמו שזנב של עפיפון מייצב אותו. על מנת שהסרטים לא יצאו בזמן זריקת הרימון כי אם רק לאחר מכן, היה בקצה הצינור מכסה שהיה נופל ורק אז הסרטים היו יוצאים. הסרטים תמיד יצאו זה עבד יפה.

את הרעיון לקחנו ממה ששמענו מחייל שהגיע מרוסיה. הוא סיפר מה פיתחו שם באמצע המלחמה כשהגיעו לסטלינגרד והיה נחוץ לעצור טנקים. חשבו איך לאפשר לחייל לזרוק ידנית מטען על טנק. היה מטען עם ידית. צינור ובתוכו שני סרטים שהיו נשלפים בגלל המשקולת שבקצה. שמענו, אז עשינו...

את הניסויים ערכנו במקום נכבד מאוד במכון ויצמן, במקום שמכונה היום 'כיכר היובל'. היה שם אז פרדס עזוב, עוד יכולנו לקטוף שם כמה קלמנטינות, זה היה שדה הבדיקה. היינו מעמידים לוח פלדה, שני לוחות, שלושה לוחות, לעברם זרקנו את הרימון, על מנת לבחון אם הוא חודר.

בשלב מאוחר יותר ב 52' עבדנו במכון 3, נקרא אז קורדאני והיה סודי מאוד. אף אחד לא ידע ששם נמצא מכון 3, חוץ מנהגי הטקסי הערביים. כשהיינו נוסעים לשם, הם שאלו: 'אתה רוצה לרדת בחמ"ד?'

שם התחלנו לפתח טילים. התלבטנו באיזו צורה לבחור: צורת מטוס גוף צילינדרי עם כנף זנב, או צורת דלתא גוף צילינדרי וכנף משולשת, כמו מטוס מיראז'. הלכנו לטכניון ונפגשנו עם פרופסור סידני גולדסטין, שהקים אז את הפקולטה לאוירונאוטיקה, רצינו להתייעץ איתו. מה אתם חושבים שהוא אמר? תבחרו צורה, תבנו, תעיפו, וכשה יעבוד אנחנו נתאים לזה תאוריה.

כך עשינו. בחרנו תצורה מסוימת, ומאיר חנין ואברהם כוגן היו המהנדסים האוירונאוטים שטיפלו בכל הצד של האוירודינמיקה. זו היתה פעולה חלוצית בשטח זה.

את הטיל שרצינו לבנות, לא היה ברור עדיין ממה משגרים. היו הרבה מאוד ישיבות במשרד הבטחון, ובערך אחת לשבועיים שינו את הייעוד: פעם יורים את הטיל ממטוס, פעם יורים אותו מספינה, אחרי עוד פגישה אצל בן גוריון יורים אותו מסירה. כשבונים דבר שצריך לעוף, דרוש לו מנוע שייתן לו דחף להתגבר על התנגדות האויר. אבל אם רוצים לירות את הטיל ממטוס כלפי מטה, לא דחף הוא צריך אלא מצנח שיעצור אותו. כל העבודה החלוצית בשטח של האוירודינמיקה של הטילים הללו, זו היתה ההתעסקות של אברהם באותה תקופה.

מתוך דברים שאמר סטף ורטהיימר במפגש באקדמיה:

יגאל אלון קרא לי כשהקימו את חטיבת יפתח ואמר 'אתה תהיה האיש שלי בגליל'. באותה תקופה ראיתי הרבה ממה שמפתחים. כשהתחילו לעלות לגליל המזרחי, היה לי תפקיד מוזר, שאף פעם לא הוגדר. הייתי בא לסטודיו, שואל מה חדש ומה אפשר לקחת, הייתי מגיע לתע"ש ולעוד מקומות, עם מעט תקציב וכמה אוטומובילים. סחבתי מכל מקום מה שאפשר בשביל חטיבת יפתח. בסטודיו של ג'נקה אמרו לי: 'שמע, מה אתה צריך? באמת, תגיד לנו'. אמרתי, תראו, הדוידקה הגדולה כבדה מדי, הפלמ"ח לא יכול לסחוב על הגוף דבר כזה. צריך ליצר דוידקה יותר קטנה. תוך שבוע־שבועיים הכינו לי שרטוטים של מה שאחר כך כינו 'פרעוש'. זו היתה דוידקה קטנה, שהיתה מתפרקת לכמה חלקים וכל חייל היה סוחב רק חלק ממנה. את זה ייצרנו בכפר גלעדי, גייסנו כמה עשרות אנשים מהאזור והכנו 'פרעושים'.

כשסיימו בגליל החליטו לרדת לנגב, ניסינו לברר מה עושים כדי שהמצרים לא יתקדמו בכזו מהירות, היתה בעיה איך לעצור אותם ליד עזה. באותה תקופה הייתי רץ לאברהם, לגדעון ולעמוס דה שליט. שלושת החבר'ה האלו היו שם, והיו נותנים לי 'חרוזים'. לקחתי 'חרוזים', שמנו אותם איפה שיכולנו ובאתי חזרה: 'רוצים יותר מאלו'... הייתי בעצם קליינט באותה תקופה.



בראשית 48' הוחל בהפיכתו של ה'סטודיו' למכון 1 ובהעברתו מתל אביב ל'גבעה', היא גבעת תל חיים שבגבעתיים. כאן עסקו בפיתוח של כלי נשק קל, פצצות למטוסים, תותח ללא רתע, מוקשים ימיים, פצצות עומק, מרגמות, להביו, נאפלים וגזים מדמיעים. כאן גם שכנה המפקדה הארצית של חמ"ד. כן שימשה הגבעה את תחנת השידור הראשונה של קול ישראל, ובאמצעותה הועבר אל גלי האתר טקס ההכרזה של הקמת המדינה.

יחידה אחרת של החיל נודעה כחמ"ד ג'. בראשה עמד ישראל דוסטרובסקי, ותפקידה היה לאתר אוצרות טבע. יחידה זו הלכה בעקבות הכוחות הלוחמים של צה"ל וחיפשה סימנים לנפט בחלץ, במכתש הגדול ואפילו בסיני (בימי מבצע 'חורב'). הציד שהובא למכון ויצמן בשביל המחלקה לאיזוטופים, שדוסטרובסקי עמד להקים, שימש את חמ"ד ג' לצורך חיפוש אורניום בהר הנגב.

אפרים קציר | על ראשיתו של המחקר הבטחוני

חמ"ד לא היה ארגון סטטי, התפתחו דברים. אנשים למדו די מהר והתחילו לעסוק בנושאים כבדים יותר. היה שיתוף פעולה עם קבוצה בטכניון, האנשים שם יכלו לתרום הרבה יותר מבחינה הנדסית.

כשמלחמת העצמאות התקרבה לקיצה, התחילו לחשוב כפרטים וככלל, מה הלאה? כבר ישנה מדינה, מה הצרכים המדעיים שלה? איך צריכות להיראות האוניברסיטאות?

באותה עת היה פרופסור ברגמן מרכז את פעולות החמ"ד בכל המדינה. הוא היה היועץ המדעי של בן גוריון ונתן את הכוון לאן צריך לפתח דברים. פרופסור ברגמן עקב מקרוב אחרי הפעילות של הקבוצות השונות בחמ"ד.

מתוך חמ"ד שלחו סטודנטים ללמוד פיזיקה גרעינית בחו"ל, כתשתית לפעילות של הנדסה גרעינית בכורים. ידעו לאן לשלוח אותם. פרופסור יואל רקח, פיזיקאי תאורטי, שהיה מאוד מוערך בעולם, תרם רבות. הוא היה מהפרופסורים הדגולים בפיזיקה והכיר את גדולי הדור בתחום, לכן הוא שתל סטודנטים במקומות הכי טובים.



ס ו ד י

פרק חסוי

לפני שנים אחדות התפרסם מעל דפי העתון ראיון עם מדען ידוע שהגיע לגבורות. בין היתר חשף אותו מדען בדבריו תוכנית מגרה ישנה, שתוכננה בשעתו למצב בו חלילה תהיה המדינה במצב נואש. עברו עשרות שנים, התוכנית מעולם לא הופעלה והכול נשאר על הנייר, אבל אבא סער למקרא הדברים בעתון: אז מה אם הגיע לגיל שמונים? בגלל זה כבר מותר לו לספר?

בתיקיות מצאנו עשרות כתבי מינוי חתומים על ידי ראשי הממשלה ושרי הבטחון של מדינת ישראל משנותיה הראשונות ואילך. שנים רבות שימש יועץ שר הבטחון בעניינים מדעיים והיה לו חלק בפיתוח מערכות אמצעי לחימה.

הוא ידע הרבה והיה שותף להתלבטויות, להחלטות וללקיחת אחריות בסוגיות של חיים בקנה מידה לאומי. הוא דאג הרבה, חשב הרבה והשקיע ממעין כוחותיו המבורכים, באופן ישיר ומודע, להקמת התשתיות המתחדשות של עם ישראל בארצו.

מופת של שתיקה חופה על כל פועליו הבטחוניים, מתוך נאמנות לשמירת סודות המדינה וכל הנלווה אליהם והנגזר מהם.

'המסגרות שונן, אך הרעיון היסודי, שהמחקר המדעי הוא מרכיב נכבד בחבילת הבטחון הלאומי, נותר בעינו.'

אפרים קציר

מדינת ישראל

משרד הבטחון
אגף מחקר וחקון

מספר תעודת זהות
מספר
5395/538/53

בתיק
באוקטובר 1954

לכבוד

סר קובן אפרהם.

א. נ. נ.

על פי הסכם בין הטכניון העברי ומשרד הבטחון, הנך עובר לטכניון העברי בתוקף סיום 1.10.54 וטארתו האריך הדל שרודר באגף מחקר וחקון.

אם כי צדה לאגף הפרידה המנהלית בטוחני כי אפשרויות בעבודה שתתנהג לך בספרם החדש האפשרות לך הספק רחוק ובי גם במסיבות החדשות לא היבסק הודיקה ההודית.

ראשיתם האגף מאחלת לך כל טוב.

מברכה,

אוריאל
ש. פרייאר
מנהל האגף

3



הקמת הפקולטה לאירונאוטיקה

צבת בצבת עשויה

יצירתם של כלי מעשה משוכללים, דורשת כלי מעשה קודמים. כדי להתין, לעצב ולחסם את הצבת הראשונה, דרושה היתה צבת שקדמה לה. חכמים מונים עשרה דברים שנבראו ערב שבת בין השמשות, ויש אומרים שאף 'צבת בצבת עשויה' היתה ביניהם. כאדם הראשון, נבראה גם מדינת ישראל ביום הששי, ובסמיכות זמן מופלאה נוצרו בה מערכות מדעיות ביצועיות ברמה גבוהה. תוך שנים בודדות התפתחו תחומים כמו כימיה מולקולרית, פיזיקה גרעינית ואירונאוטיקה על קולית.

כל זה כלל לא היה מובן מאליו, ועל פי שורת ההגיון בעצם בלתי אפשרי. בשנים הסמוכות להקמת המדינה היה הציבור, כולל הסטודנטים וצוותי ההוראה, מגויס למלחמה. באותן שנים עצמן נקלטו בארץ עולים רבים, עד שאפילו אוהלים קשה היה להשיג עבור כולם. מצרכי מזון בסיסיים כמו ביצים וחלב חולקו בצורת אבקה על פי הקצבה אישית, ובירושלים היו גם המים במשורה. במדינה שאינה יודעת עדיין ליצר אופניים, טען אחד המתנגדים, מה טעם לחתור לייצור מטוסים? שאלה גדולה היא לכן, בעזרת איזו 'צבת' נעשתה ה'צבת' האירונאוטית?

עיון בקורות חייהם של אבות התחום האירונאוטי בארץ, וכן של מדענים רבים אחרים מאותה תקופה, מעלה כמה קווים משותפים, שהתכנסו אל ארגז הכלים הלאומי.

יעקב פיאטלי, מהנדס אירונאוטי יצירתי, שעמד בראש 'בדק מטוסים' בזמן מלחמת העצמאות, יואל רקח, פיזיקאי בעל שם עולמי, שהיה ממתווי הדרך לפיזיקאים הגרעיניים וסידני גולדסטין, ממובילי ההנדסה האירונאוטית בעולם, שתבע את הקמתה של הפקולטה בטכניון, הציב את יעדיה וגיבש את צוות ההוראה והמחקר שלה, פון קארמן שהיה מראשי המפתחים של ההנדסה האירונאוטית במערב, זליג ברודצקי שעמד בראש האוניברסיטה העברית ואף לו היה חלק בתחום האירונאוטי, ואחרים.

כל אחד מהם התמחה בכמה מקומות שונים וזכה להתלמד ליד גדולי התאורטיקנים, הממציאים והמפתחים בתחום האירונאוטי. כל אחד מהם רשם בצעירותו הישגים מדעיים משמעותיים, המשלבים ידע רב עם יצירתיות וחדשנות. רובם היו שותפים למאמץ מלחמתי בצבא זר כלשהו, והועסקו בתעשיות ומוקדי פיתוח תעופתי. כל אחד מהם היה בעל זיקה לעמו ולמולדתו שבציון, למרות שנולדו והתפתחו בנכר. במקום בו מצאה אותם האנטישמיות, חש כל אחד מהם את הזעזוע על בשרו, ורובם העבירו את מרכז חייהם ארצה. הם היו, כל אחד בדרכו, אנשים ששלטו היטב במתמטיקה תאורטית ובו בזמן ראו כחלק מאחריותם האישית חיפוש דרכים ליישום התאוריות על פי צורכי התקופה.

במאמרים ביוגרפיים שנכתבו אודותם, משתקפים היטב מהלכי חייהם הכלליים. אי אפשר שלא להתרשם ממכלול ההכשרה שקיבלו, מן הקישור לעם ישראל ולציונות, ומהניתוב המדויק, שהעמידם במקום של השפעה כה מכרעת במדינת ישראל בראשית דרכה. כך בבוא העת, נשלפה מן הארגז 'צבת' עתירת ניסיון וידע שמכוחה נוצרו פיתוחים אירונאוטיים מהמתקדמים בעולם.

הקמת הפקולטה לאוירונאוטיקה

לימודיו על הר הצופים, שהופסקו בכ"ט בנובמבר, כבר לא חזרו למסלולם. עם סיום הלחימה, קיבל אישור להכין עבודת גמר לתואר שני בפיזיקה תחת הדרכתו של פרופסור פקריס, שבינתיים הגיע ארצה. בתש"י (50') סיים את לימודי המגיסטר מטעם האוניברסיטה העברית, כשהוא עצמו וכן המנחה, פרופ' פקריס, נמצאים במכון ויצמן.

כשסיימתי את הלימודים קרא לי פרופ' ברגמן וסיפר על תוכנית להקמת מחלקה לאוירונאוטיקה בטכניון. כהכנה, אמר, יישלחו מספר צעירים ללימודים במקומות שונים בעולם, ושאל אם אהיה מוכן להיות אחד מהם. פרופ' ברגמן סיפר לי אז על הצטרפותו לטכניון של פרופ' סידני גולדסטין. כיהודי ציוני נקרא לבוא על מנת ליעץ ולהקים בטכניון את ענפי הלימוד החיוניים למדינה, ביניהם אוירונאוטיקה.

סידני גולדסטין ריכז את שטח המחקר האוירונאוטי באנגליה בסוף שנות השלושים ובהתחלת שנות הארבעים, כלומר תוך כדי מלחמת העולם השנייה. הוא היה פרופ' למתמטיקה שימושית במנצ'סטר, שם היה חיים ויצמן פרופ' לכימיה. עם קום המדינה היו מחשבות, איך ניתן לעדכן ולפתח את מוסדות המחקר בארץ, ופרופ' ויצמן המליץ לקרוא לסידני גולדסטין ארצה על מנת שיעזור בשכלול מוסדות המדע בארץ. הוא קיבל על עצמו את המשימה, הגיע ארצה והתמנה פרופסור בטכניון.

כשנה לאחר הקמת המועצה המדעית פנה אלי סשה גולדברג, ואמר כי על הפרק עומד נושא בעל חשיבות לאומית, וביקש לזמן פגישה בין פרופ' סידני גולדסטין ממנצ'סטר, חוקר בעל מוניטין עולמי באוירונאוטיקה, לבין בן גוריון. גולדסטין הציע לבן גוריון להקים מחלקה לאוירונאוטיקה בטכניון, לבנות מנהרת רוח ולהתחיל להכשיר מהנדסי תעופה בארץ.

בן גוריון הקשיב קשב רב כמנהגו, הודה לפרופ' גולדסטין ואמר: 'אעיין בדבר'. עם לכתם ביקש ממני לזמן פגישה עם כל הגורמים הנוגעים בענייני תעופה, וכך עשיתי. בפגישה זו השתתפו כמובן נציגי צה"ל, חיל האויר, אל-על, אשר הוקמה אך באותה שנה, וגורמים אחרים אשר היתה להם נגיעה בענייני תעופה ובטחון. אני זוכר כינוס זה: בן גוריון הציג לפני המשתתפים את הנושא והעלה את הצעתו של פרופ' סידני גולדסטין. בזה אחר זה הביע כל אחד מן המשתתפים את דעתו. עד כמה שזכור לי, המתנגדים לרעיון היו רבים מן התומכים בו. טענת המתנגדים היתה שאין לנו צורך במספר כה רב של מהנדסי תעופה. אם נכשיר מדי שנה מהנדסי תעופה, הם ישארו מחוסרי עבודה וירדו מן הארץ. בן גוריון הקשיב לכולם, הודה להם, ולאחר לכתם ביקשני להזמין אליו את סידני גולדסטין, את סשה גולדברג ואת שלמה קפלנסקי, מנהל הטכניון דאז. בבוא השלושה אליו נתן להם בן גוריון אות להתחיל במלאכה.

דוד מושין | עוזרו האישי של בן גוריון

אמנם קדמו לפגישה זו מחשבות ופעולות בתחום האוירונאוטי, אך ההתקדמות מן ההתחלות ההן לא היתה התפתחות רציפה וטבעית, כי אם דילוג הסטורי. מפליא לעיין במרכיבי המפעל, שרק קורא הדורות מראש יכול היה לתכנן את הצטרפותם יחד באופן כה מכוון מטרר.

אומץ, שהתחדש בנשמת האומה, היה מרכיב אחד. ההחלטה ההסטורית להכריז על מדינה יהודית כללה לקיחת אחריות על מכלול תחומים נדרשים. כמו המן במדבר, הומטר האומץ ממרום על פני כל השטח, והופיע ביוזמות, בסיכונים, בהחלטות ובפיתוחים.

ידע וניסיון שעלה ארצה, היה מרכיב שני. בעולם היה התחום האוירונאוטי עצמו צעיר מאוד, ובין מפתחיו הראשונים היו מדענים יהודים. שלושה מהם: פון קארמן, ברודצקי וגולדסטין, התייצבו לעזרת המדינה מיד לאחר הקמתה. מהנדס נוסף, פיאטלי, הגיע ארצה עוד קודם לכן, ותרם תרומה משמעותית לתשתיות האוירונאוטיות המתהוות.

ההכרח היה מרכיב שלישי. אילולא הוגדרה המשימה כהכרח קיומי בטחוני לטווח ארוך, לא היה מופיע העוז ולא היו נרתמים הכוחות למפעל הקמת הפקולטה.

גולדסטין התמנה משנה למנהל הטכניון ולימד מתמטיקה יישומית. כמו כן מונה כדיקן ראשון לפקולטה לאוירונאוטיקה, שעדיין לא היתה קיימת בפועל באותה עת.

שלחו אותי בעקבות פרופ' גולדסטין, שהיה אז במסע על פני מוסדות מחקר בארה"ב. אמרו שאסע לשם, שאמצא אותו ואצור אתו קשר, הוא ינסה להכניס אותי לאחת האוניברסיטאות. למרות שהלימודים כבר התחילו בפרינסטון, נמצא מקום עבורי, והתחלתי ללמוד.

ידעתי כמה וכמה שפות, אבל אנגלית לא היתה ביניהן. עד אז זכיתי לקבל רק שני שיעורי אנגלית מחבר בקישינוב... הייתי יושב באחדות מההרצאות ומגיע לעתים לסף יאוש. האנגלית המדוברת נשמעה עילגת באוזני, המרצים דיברו מהר, ולי היה 'כל' הידע שרכשתי באותם שני שיעורים בודדים.

באותה תקופה, אחרי מלחמת העולם השניה, נעשה מאמץ הן מצד הסובייטים והן מצד האמריקאים לאסוף מדענים מאירופה, ולרתום אותם למרוץ הידע שהתחיל בין מזרח למערב. לפרינסטון הגיע פרופסור מאיטליה, לואיג'י קרוקו, שלימד אותנו. כמוני, גם הוא לא ידע יותר מדי אנגלית, והיה מדבר לאט בעגה איטלקית. מאחר ואני דובר רומנית, אותו דווקא הבנתי יותר מהסטודנטים האחרים. עבורי הוא היה מעין קרש מעבר. לאט לאט התחלתי להבין ויכולתי כבר לקרוא גם בספרים.

סיימתי תואר שני ומאוחר יותר תואר שלישי בפרינסטון, חזרתי ארצה והתחלתי ללמד בטכניון. אז עדיין לא היתה מסגרת ולא היו סטודנטים לאוירונאוטיקה. לימדנו במחלקה להנדסת מכונות את תנועת הזרימה ותרמודינמיקה. שנה לאחר מכן התחלנו הוראת אוירונאוטיקה במחלקה שנפתחה.

מה שלמד לא שכח.
 כחומר ביד היוצר היה ממציא ומפתח,
 באמצעות יכולת ניתוח של
 חוקי טבע פיזיקליים
 ותורת ההגיון המתמטי.

pressures on a free stream line too.



6/11. External drag is not too important if the air intake is only a small part of the engine, like in an airplane, when there is a main external drag due to the other parts of the engine, much greater than the ext drag due to the intake.

But in cases like ram jet, when the duct is actually the entire engine, external drag becomes important.

If there is no effect of the intake upon the external flow, the total force upon the duct is given by the thrust

$$F = m_f w_f - m_o w_o \quad (1)$$

where m_f and w_f are measured downstream, at a location where the static pressure p_f is equal to the atmospheric pressure p_o .

If we can also define the thrust through w_f measured just at the exit, where $p_f \neq p_o$. Then we have

$$F = m_f w_f + (p_f - p_o) A_f - m_o w_o \quad (2)$$

Now let us consider following air intakes



case 1



case 2



case 3

In case 1 let us denote the fluid volume bounded by surfaces A_o , A_f , and streamline surface by α and the body of the pipe by β .

דפים ממחברת 'JET' מתקופת
 ההשתלמות באוניברסיטת פרינסטון

התכנית של גולדסטין היתה מרחיקת לכת. צריך להבין שעד אותה תקופה היה הטכניון בית ספר קטן. כשש מאות סטודנטים למדו בארבע פקולטות: בנאות (אינג'ינרים), הנדסת מכונות, הנדסת חשמל וארכיטקטורה. גולדסטין חידש את ההבנה שבבית ספר לטכנולוגיה מודרנית, 'מכונאות' לא כוללת את כל המכונות. לכאורה הנדסה אוירונאוטית גם היא סוג של הנדסת מכונות, אבל זה משהו אחר בכל זאת. גם הנדסה כימית, הנדסה חקלאית או הנדסה גרעינית יכולים להחשב הנדסת מכונות. הוא זה שטבע את המטבע הארגונית, שאומרת שכל אחד מהתחומים דורש מחלקה נפרדת.

בארץ קטנה כמו שלנו, אמר לנו פרופ' גולדסטין, במדינה שזה עתה נוסדה ואין בה עדיין מחקר והוראה בְּתחום, יש תפקיד שונה לפקולטה לאוירונאוטיקה. בארה"ב למעלה ממאה אוניברסיטאות, המציעות לימודי אוירונאוטיקה לכן שם הם יכולים להרשות לעצמם ללמד התמחות מיוחדת בחוזק חומרים ומבני מטוסים באוניברסיטה אחת, ובאוניברסיטה אחרת לתת התמחות בדינמיקה של זרימת האויר סביב הכנף והכוחות המופעלים עליה. באוניברסיטה נוספת יהיה דגש על מנועים והכימיה של השריפה שמתחוללת במנוע, ושוב במקום אחר ילמדו אלקטרוניקה ובקרת המטוס, איך גורמים שיטוס אל יעדיו, ויבצע את המטלות הנדרשות.

אבל אצלנו, אמר לנו גולדסטין, לא יהיו הרבה פקולטות. לכן אותה פקולטה צריכה להיות מגוונת, אנחנו צריכים לדאוג שיהיו בה מורים עם התמחויות בכל אחד מהשטחים האלה. לשם כך הכשיר קבוצה של חמישה בוגרי פיזיקה, מתמטיקה והנדסה. הוא לא רשם שניים באותה אוניברסיטה, אלא אחד בפרינסטון, השני בקורנל, אחר בסטנפורד או בפוליטק. בכל אחד מהמקומות הללו למדו נושא אחר באוירונאוטיקה, והכוונה היתה שכאשר נחזור ארצה, כקבוצה אחת, נוכל להרים את כל זה.

בהמשך לאותו כוון מחשבה, טען גולדסטין שיש לספק לפקולטה שתקום אמצעים ומעבדות שונים מאלו המצויים בפקולטות לאוירונאוטיקה בחו"ל. בארה"ב יש מוסד כמו נאס"א NATIONAL ADVISORY COMMITTEE FOR AERONAUTICS, כיום זהו ארגון אסטרונוטי. ישנן שם מעבדות ענק, יש להם אפשרות לבנות טיל ניסוי בקנה מידה של אחד על אחד. ואילו באוניברסיטאות המעבדות קטנות, והאמצעים דלים יותר.

פקולטה לאוירונאוטיקה כאן, טען גולדסטין, אמורה לבנות מעבדות שיוכלו לספק לא רק את צרכי ההוראה לסטודנטים בקנה מידה קטן. עליה לאפשר לחוקרים מהתעשייה לבצע בתחומה ובמעבדות שלה ניסויים. עלינו, כך אמר, להיות 'נאס"א קטנה של ישראל'. מזה התחייב שנבנה אמצעי ניסוי מגוונים.

מהדרכתיו של גולדסטין הבנתי את הגדרת המטרה שלנו: להקים פקולטה שתוכל לשרת מדינה. לא די שנלמד סטודנטים; תפקידנו יהיה גם בשטח המחקר, בשיתוף פעולה עם משרד הבטחון ועם חמ"ד (חיל מדע), שבינתיים שינה את שמו לאמ"ת (אגף מחקר ותכנון) ומאוחר יותר קיבל את השם רפא"ל (הרשות לפיתוח אמצעי לחימה).

הבנו שהסטודנטים שאנחנו מאמנים בפקולטה הם העתודה של המוסדות האלה, וכן של התעשייה האירית, שהתחילה כ'בדק מטוסים' ולאט לאט הפכה לתעשייה. ובאמת, הסטודנטים שעברו תחת ידינו נושאים על שכמם את כל הפיתוחים שראינו, תכנון ובניה של מטוסים, טילים ולוינים. אלה האנשים. זאת אומרת שזו היתה הצלחה גדולה.



בין מכתבים ומסמכים, שמור במעטפה קטנה, מצאנו נגיבי של פילים
ישן. בתמונות, שפותחו עשרות שנים לאחר שצולמו, מראות מיום
טיול בגבעות שבין רמות רמז שם גרנו, לבין אתר הבניה של בנין
הפקולטה לאוירונאוטיקה.
בשתי התמונות השמאליות נראים גידור השטח וחפירת היסודות
לבנין שנבנה באותה שנה, תשי"ג (53), כמבנה הראשון בקרית
הטכניון החדשה.
הצילומים, מלאי העוצמה והרוך, צולמו על ידי אמא.

'בשנת 51' נימנו בצוות הפקולטה פרופ' גולדסטין ושני אסיסטנטים. גולדסטין התייעץ עם פרופ' ארנסט דוד ברגמן, שעמד בראש חמ"ד, המחלקה המדעית של משרד הבטחון. ברגמן הסכים לשחרר שניים מאנשיו המוכשרים; כהכנה לתפקידים בטכניון נשלחו אברהם כוגן לפרינסטון ומאיר חנין לקורנל. ב 52' הצטרפו אל גולדסטין שני מרצים צעירים מארה"ב: הירש כהן וג'רי שפר. נפתח קורס ב'תאוריית הזרימה' עבור סטודנטים להנדסת מכונות ולהנדסת חשמל, אבל רק בשנת 55' היו לה לפקולטה תלמידים משל עצמה.

קרל אלפרט | הטכניון

'עם בואו של פרופ' גולדסטין הוחלט על הקמת הפקולטה בראשותו, אשר תכלול סגל מעולה אך מצומצם במספרו, עם מעבדות מתאימות. הכוונה היתה שסגל המחלקה יעסוק במחקר, ויתפנה גם להוראה חלקית באוירונאוטיקה, אם יתגלה צורך בכך בישראל. אז, בראשית שנות החמישים, חשבו שיהיה צורך לחנך מדי פעם מחזור לא גדול של מהנדסים אוירונאוטיים ובכך יסופקו צורכי הארץ.

כעבור מספר שנים נאלץ פרופ' גולדסטין לעזוב את הארץ. במחלקה שנוסדה זה עתה נשאר הסגל שלה אשר מנה אז כמה אנשים צעירים, והם המשיכו לשאת בעול בכוחות עצמם. ההוראה במחלקה החלה באמצע שנות החמישים ובד בבד הוחל בהקמת המעבדות. אנשי הסגל היו כאמור צעירים בגיל ובניסיון, אך מרצם, מאמצם ושיקול דעתם עמדו להם לפתח ולקדם את המחלקה.

המציאות בארץ טפחה על פני כל ההיסוסים והשיקולים הזהירים ששימשו נר לרגלי מייסדי הפקולטה. חיל האויר התרחב והתעצם, הוקמה התעשייה האוירית, הוגברה הפעילות של אגף מחקר ותכנון במשרד הבטחון, המוסדות העוסקים בתעופה האזרחית התרבו והתפתחו וכל אלה דרשו יותר ויותר מהנדסים אוירונאוטיים. כתוצאה מכך גברה מאוד עבודת ההוראה והמחקר של הפקולטה.

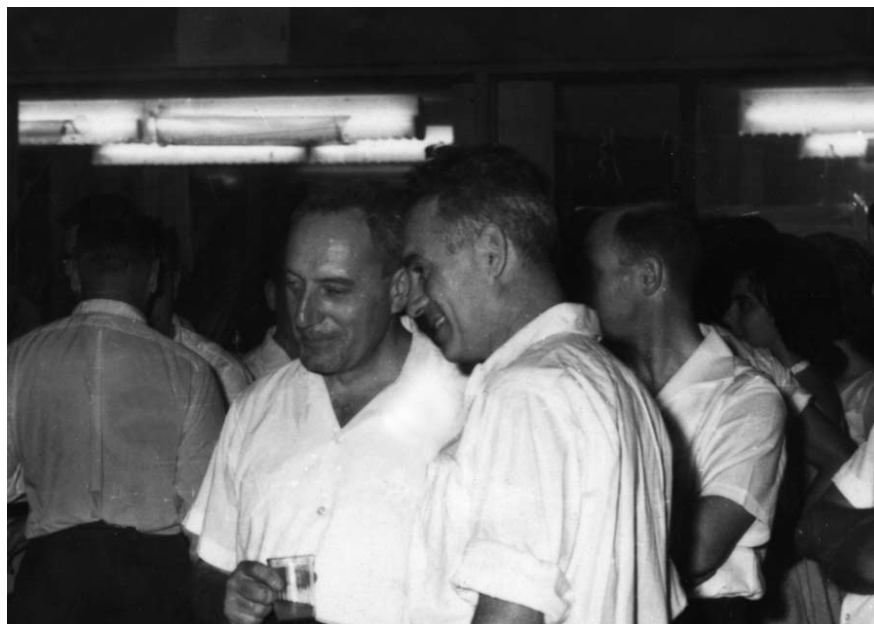
מתוך מסמך שנכתב בטכניון לכבוד מלאת עשור לפקולטה להנדסה אוירונאוטית



בשנת תשי"ד (54') פתחה הפקולטה את שעריה לשנים עשר תלמידיה הראשונים

כשחזרתי מארה"ב בדצמבר 57' כוגן, זינגר, חנין ושפר כבר לימדו את המחזור הראשון, שסיים ביוני 1958. אברהם היה הבכיר בינינו. מהמחלקה, ולאחר מכן מהפקולטה, צמחה התעשייה האוירונאוטית הישראלית שתרמה רבות לבטחון המדינה ושהיא אחד ההישגים הגדולים של מדינתנו.

משה ארנס



'הציוד הראשון עבור המעבדה למבנים הגיע כאשר עדיין לא היה מבנה עבורו, ולנו לא היה באותה עת מקום עבור המכונות. מהמחלקה למתכות הציעו לנו להקים את המכשור בשטח שלהם. התיעצתי עם אברהם והוא בחמתו שכנע אותי שלא לקבל את ההצעה. המכונות האלה, כך אמר, תתאקלמנה יותר מדי טוב במעבדה ההיא, וכשנצטרך אותן למעבדה החדשה שלנו, הן לא תרצנה לצאת משם. לפי עצה זו הקמנו את המכונות ליד המעבדות, עד שקיבלנו מקום של קבע למעבדת המבנים.

פעלנו רבות יחד לגיבוש כוונת ההוראה והמחקר של המחלקה וכך התגבשה קבוצת הצעירים שבמשותף הובילה את האוירונאוטיקה בטכניון. ואולי כאן צריך להוסיף מלה. בטכניון, כמו בכל מקום רציני, יש סכסוכים וקבוצות שמושכות לכאן ולכאן. היתה בטכניון באותה תקופה לפחות קבוצה אחת שהיתה לה איזו רוח אחרת, אותה קבוצה באוירונאוטיקה, שפעלה יחד, ואברהם היה המוביל שלה.

הראיה שלו תמיד היתה כוללת. כמה שאלות שאלנו אז יחד אָתו: מה טוב לפקולטה, מה מועיל לטכניון, אילו רעיונות או איזו פעילות יתרמו הרבה למערכת הבטחון ולתעשייה המתפתחת. הוא הוביל אותנו אז בהגדרת המטרות. הוא היה המכוון, כמובן בעיקר בשטח הזרימה - השטח שלו - אבל גם בשטחים אחרים. למשל כאשר כעבור כמה שנים החלטנו להקים את שטח הבקרה יחד עם פרופסור מרחב, היה אברהם אחד הפעילים בהכנת הכוון החדש הזה של הפקולטה.

תמיד ראיית התמונה השלמה, תכנון לעתיד, חתירה לשילוב בפעילות הכלל-טכניונית, שאיפה לשיתוף פעולה הדוק עם מערכת הבטחון. כל אלו מאפיינים את פעילותו בפקולטה.'

פרופ' יוסף זינגר | מתוך דברים שאמר במפגש באקדמיה



המבנה ההסטורי של הטכניקום העברי נבנה בתרע"ג (13) על פי תכנונו של הארכיטקט ברוואלד. בתצלומים מהימים ההם נראים גמלים נושאים לבנים לאתר הבניה. בסמיכות מקום נבנה בסגנון דומה בנין בית הספר הריאלי העברי. שני המוסדות צירפו לשמם את התואר 'העברי' לאות נצחון השפה העברית על השפה הגרמנית, במאבק שכונה 'מלחמת השפות'. הר הכרמל היה חשוף ושני הבנינים המרשימים בלטו על מורדותיו. הבניה כמעט הסתיימה כשפרצה מלחמת העולם הראשונה ובמבנה הגדול והריק התמקמו בזה אחר זה הצבא הגרמני, הצבא התורכי והצבא האנגלי. רק בתרפ"ד (24) נפתח הטכניון כמוסד לימודים טכנולוגי, והמבנה החל לשמש לייעודו המקורי.

כעבור עשור כבר ניתן היה לראות שהשטח סביב הבנין יהיה צר מלהכיל את תוכניות הפיתוח. הוצע שטח נוסף בטירת הכרמל. לבטים באשר להתאמתו למטרות הטכניון עכבו את הבניה בו. כאשר הוחל שוב בקידום תוכניות הבניה, עם סיום מלחמת העולם השניה, התברר שגלי המציאות הכריעו כבר את הדיון: על השטח המיועד הוקמה מעברה שקלטה אלפי עולים חדשים.

כתחליף שהתברר כבעל יתרונות רבים הוצע שטח של כ 550 דונם, שהתרחב לשטח של 1350 דונם עבור קריית הטכניון החדשה על הגבעות שליד נווה שאנן. בתשי"ב (52) הוחלט על התחלת הבניה. הדיון בדבר הקדימות, וההחלטה לבנות תחילה את בנין הפקולטה לאוירונאוטיקה, הוכרעו על פי שיקולי בטחון המדינה.

ארבעים שנה לאחר הקמתו של המבנה ההסטורי בהדר הכרמל, נחפרו היסודות לבנין הפקולטה לאוירונאוטיקה בקריה החדשה. את הבנין, שעד היום אין שני לו בין מבני הטכניון, תכנן האלוף יוחנן רטנר. על פי תכנונו נבנו גם בנייני המוסדות הלאומיים בירושלים.

בנין הפקולטה בנוי ממספר אגפים. באחת השנים נבעו סדקים בקירותיו של אחד מאגפי הבנין. היה מי שמיהר להחליט שיש להרוס את האגף ולבנותו מחדש. אבא עצר את ההחלטה ונתן הנחיות לשיקום המבנה. על פי שיטת ייצוב מבנים שלמד בצעירותו בגולה, נחשפו יסודות האגף, והוכנסו כבלי פלדה שנקשרו סביב המבנה ועגנו אותו לסלע.



נקבות הרוח

זו מדינה קטנה, אמר לנו פרופ' גולדסטין, ויכול להיות שמחר כבר תהיה פה תעשייה או התחלה של תעשייה אוירונאוטית שתזדקק למעבדת ניסוי. הוא ראה קדימה והבין שלא נרצה לצאת לחו"ל בנושאים רגישים. תצטרכו לבנות את נקבות הרוח מספיק גדול וחכם, אמר, כדי שתוכלו לעזור לתעשייה הבטחונית.

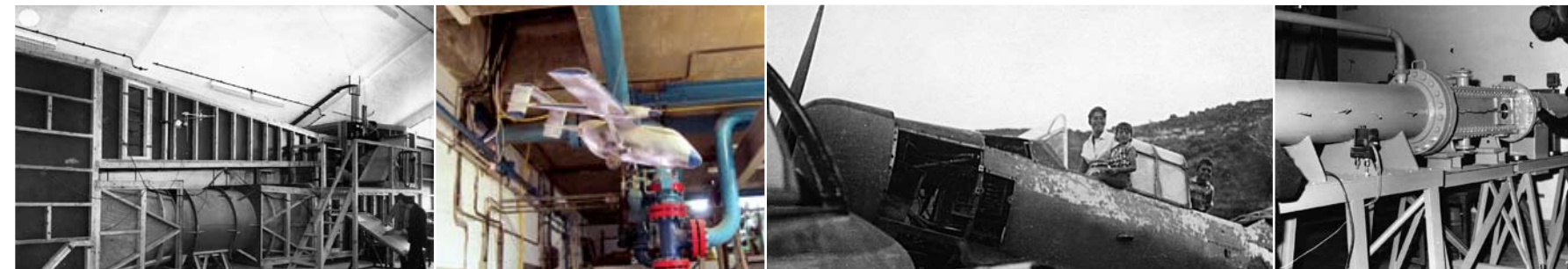
נקבת רוח היא מנהרת אויר בה נושבת רוח חזקה מאוד. את הרוח מייצרים במנהרה בעזרת פרופלורים. בתוך נקבת רוח ניתן למקם דגם קטן של מטוס, מצויד בגששים, ולבחון את כמות הלחץ שנוצרת בנקודות שונות: איזה כוח דוחק את הדגם. כך אפשר ללמוד על גבי דגמים אם מה שחישבנו בתאוריה מתקיים.

מי שקיבל אותי והדריך אותי בתקופת ההשתלמות בפרינסטון היה פרופ' בוגדנוב, יהודי, תלמיד של סידי גולדסטין, שהיה ראש המעבדה לנקבות רוח באוניברסיטת פרינסטון. תחום ההתמחות שלי היה אוירודינמיקה, דינמיקת הזרימה: הכוחות הנוצרים על גוף מוצק על ידי האויר הזורם סביבו. בממשות האוירונאוטית קורה ההיפך: גוף שחודר דרך האויר העומד, מזיז את האויר, נושף עליו. זה אותו דבר.

בכדי להציף דגם גדול של מטוס ולמדוד כל מה שמתרחש על גביו בתנאי זרימת אויר, צריך ליצור נקבת רוח גדולה, שתוכל לספק זרם אויר חזק מאוד, במהירות עצומה. אלו כמויות

ניסוי ראשון במערכת לחץ גבוה של מנהרת הרוח העל קולית. סטודנטים של הטכניון יבצעו מדידות של מהירות, לחץ וכוחות הפועלים על חלקי מטוס בעת טיסתו. המוזמנים לטקס התבקשו 'לא להיבהל אם יסודות הבנינים הסמוכים יזדעזעו כתוצאה משחרור לחץ האויר העצום'. ראש המעבדה ד"ר א. כוגן גילה כי 'במרצת הזמן יוקמו שתי מנהרות אויר נוספות, שבאחת מהן תושג מהירות הקרובה למהירות הקול ובשניה תגיע המהירות עד ל 4,500 ק"מ בשעה, פי ארבע ממהירות הקול'.

מן העתונות | ספטמבר '57





אדירות של אנרגיה, ואי אפשר לבנות נקבה כזו באמצעים העומדים לרשות אוניברסיטה. כדי לספק למחקר האוירונאוטי נקבת רוח רצינית, תעשיתית, מעמידה מדינה כמו צרפת למשל את מעבדות נקבות הרוח על יד מפל מים גדול. שם, על ידי מאות מגוונים חשמל, מניעים מניפות גדולות בכדי ליצור אותה רוח. מפעל מסוג זה בכלל לא בא בחשבון בקנה מידה אוניברסיטאי.

איך בכל זאת מאמנים סטודנטים באמצעים אמיתיים, כדי שאחר כך יהיו בעלי ערך מקצועי בתעשית מטוסים? הרעיון נקרא BLOWDOWN WIND TUNNELS זאת אומרת נקבת רוח, שבבת אחת, למשך זמן קצר, משחררים בה מכת אנרגיה.

במסגרת הקמת הפקולטה לאוירונאוטיקה צריך היה להקים מערכת של נקבות רוח, ואנחנו הלכנו לפי הדגם של הפקולטה להנדסה אוירונאוטית בפרינסטון. קיבלתי את כל העזרה מפרופ' בוגדנוב. הוא נתן לנו את ה־ BLUE PRINTS - את התוכניות של נקבות הרוח שנבנו שם.

הקמנו חווה של מקלים לאויר בלחץ גבוה. ארבעים ושמונה מקלים, בעלי נפח של שלושים וחמשה מטר קוב - כמות גדולה של אויר, בלחץ של מאתיים אטמוספרות. לצד המכלים הקמנו חדר קומפרסורים. שלושה קומפרסורים עובדים עבודה מאומצת משך שמונה שעות כדי למלא את המכלים אויר דחוס. זו מערכת מודולרית של מכלים, המחברים ביניהם במקביל לצינור פליטה שמגיע עד לברז מרכזי.

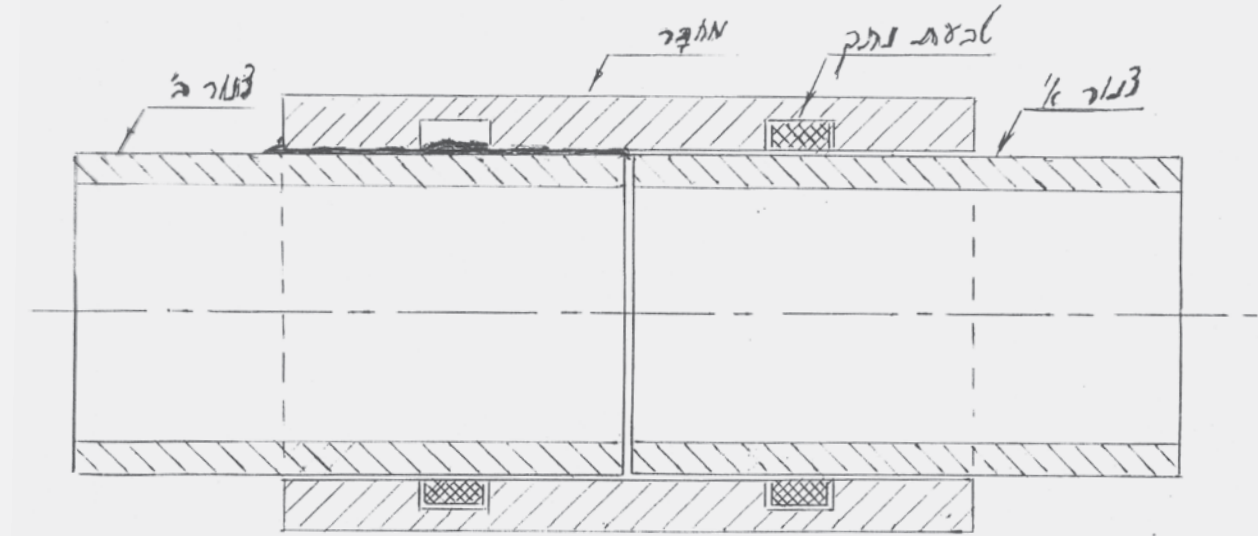
בסוף היום, אחרי שהגענו לכך שהמכלים בלחץ מלא, אם אני רוצה לערוך ניסוי, אני פותח בבת אחת את הברז, ונותן לכל האנרגיה שהצטברה, לכל הלחץ הגבוה האגור בארבעים ושמונה

מכלים - לצאת. הכול פורץ החוצה במשך חמש דקות. באותן דקות נוצר בנקבת הרוח זרם רב עוצמה במהירות גבוהה מאוד. ברוח הזו אני יכול לבצע נסיונות אמיתיים, אבל בזמן קצר מאוד. זה הרעיון.

היה לנו תפקיד להקים בטכניון את המערכת הזו. היינו בתחרות עם הזמן, חשוב היה לנו שנקבת הרוח תהיה כבר פעילה בשעה שהסטודנטים מהמחזור הראשון יגיעו לקורס ג'.

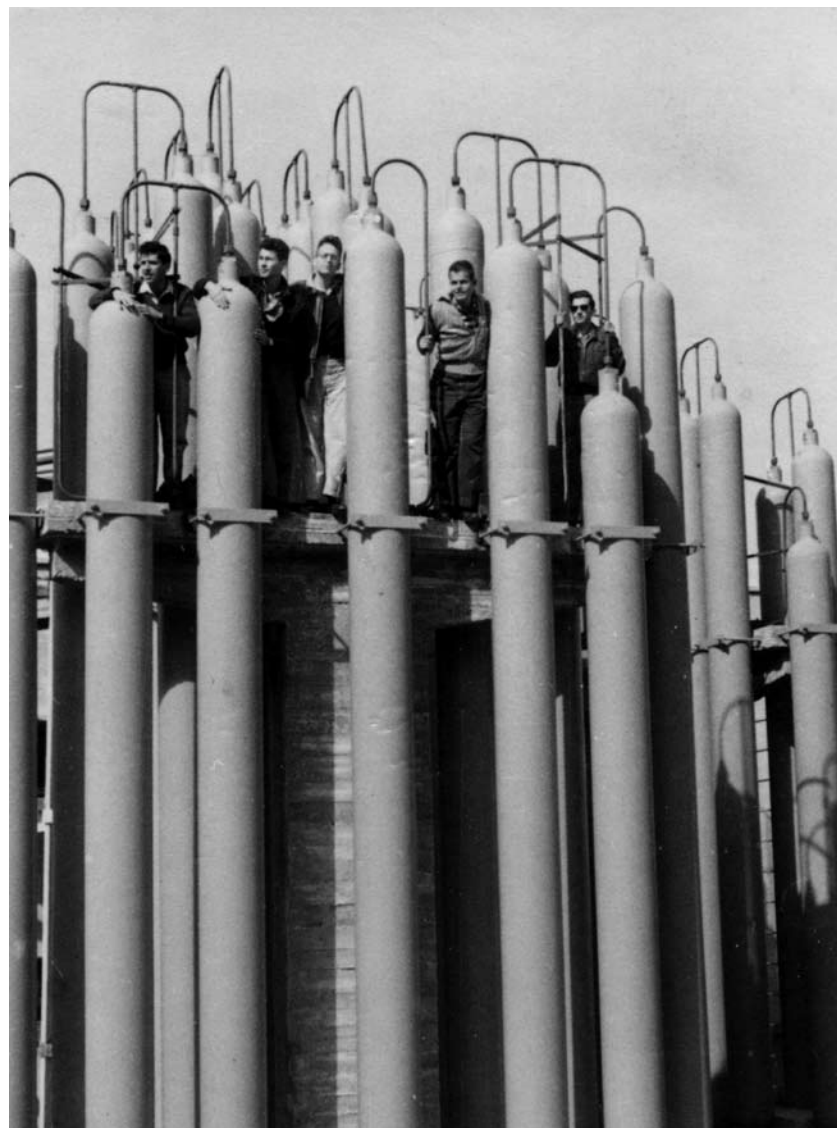
בתוכניות של נקבות הרוח שקיבלנו, היו צינורות עבים מפלדה משוכה ששימשו בחיל הים האמריקאי לטורפדו, עם קיר בעובי של סנטימטר וחצי. צינורות שבנויים לעמוד בשלוש מאות אטמוספרות, צינור אחד שלם ובקצהו כיפה. על מנת שיהיו כמה שפחות ריתוכים, ריתכנו בכיפה גם את הברז. כשצריך לחבר שני צינורות ארבעה צול, הריתוך יחליש. לכן השיטה היתה להלביש מופה, צינור גדול יותר, על החיבור בין שני צינורות צמודים. בתוך המופה היו שתי תעלות ובתוכן שתי טבעות כסף. מצמידים את קצות שני הצינורות, מלבישים עליהם את המופה, והרתך מחמם היטב מבחוץ את אזור החיבור עד שטבעות הכסף מותכות. הכסף מתחיל לזרום בשרוול וממלא שטח מגע רחב. שיטה זו נותנת חוזק רב ואינה מחלישה את המכל.

טוב, זה הפטנט שנתנו לנו בבית החרושת, אבל צריך היה לבצע את זה כאן במקום. התיעצנו והבאנו רתך מקצועי. היו שם מאתיים ריתוכים, כשסיים בדקנו את המערכת. לא בודקים עם אויר בלחץ מאתיים אטמוספרות, אלא מכניסים מים. אם משהו מהריתוכים יזוז המים ישפכו ולא יהיה פיצוץ. הכנסנו מים, הוספנו קצת אויר כדי להגיע למאתיים אטמוספרות, וצינור אחד עף, מעל ראשו של פועל שלמזלנו היה נמוך ולא נפגע. כעת חשבנו מה עושים הלאה.



יום אחד כוגן בא ואומר: 'שמע, יש לי בעיה. קיבלתי צינורות עשרה מטר גובה, וצריך להלחים אותם בקצה כדי שלא יברח מהם האויר הדחוס.' להלחים עם ברנר עשרה מטר גובה באויר, לקבל הלחמה שם... בייליתי עם כוגן כמה ימים.

סטף ורטהיימר | מתוך דברים שאמר במפגש באקדמיה



מחזור א' על המכלים

הפעם התייעצתי עם סשה גולדברג, מהנדס שרכש ניסיון תעשייתי רב אצל הבריטים בזמן המלחמה, שהגיע על מנת לסייע במאמץ המלחמתי בארץ. הוא הקים את מפעל הדשנים והכרתי אותו מהסנט של הטכניון. הגעתי ושאלתי: 'סשה, מה עושים?' - 'צריך לצלם צילום רנטגן את כל הריתוכים', אמר, והמליץ על איש מקצוע בריטי שנשאר כאן בארץ ועבד בבתי הזיקוק בנושאים דומים. גולדברג אמר לי: 'תשמע, הבחור הזה אוהב לשתות, אם אתה מביא אותו תכין גם בקבוק טוב של סקוצ'. הוא יעשה עבודה טובה.'

הבאתי את ג'וני, הוא עבד כמה ימים, צילם כל ריתוך משלוש זוויות, כלומר ביצע שש מאות צילומים, והם כולם הראו אותו דבר: הריתוכים המסו רק חלק קטן מטבעות הכסף. הרנטגן הראה ששלושת רבעי טבעת בכלל לא זרמה. לכן אין פלא שזה עף.

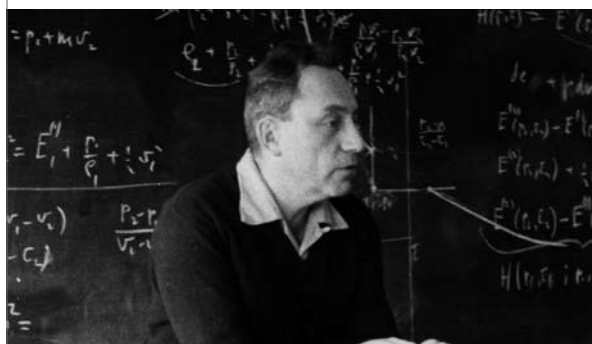
הלכתי שוב לסשה גולדברג, עם התוצאות. 'אתה צריך רתך טוב. יש בחור אחד שיכול לעשות את העבודה הזו, זה סטף'. את סטף הלא הכרתי מחמ"ד. באותו זמן היה חי בצריף בנהריה, וכבר התחיל לייצר מתקש"ים (מתכות קשות).

הסברתי לסטף את הבעיה: זו בעצם בעיה לאומית. אנחנו צריכים לסיים את בנית המנהרות הללו. לי היו סטודנטים מקורס ג' שהגיעו לפרקם... הראיתי לו את הצילומים, ושאלתי אם יוכל לבצע את הריתוכים. הוא לקח את העוזר שלו, ועם מכסטיים קצרים טיפס על הפיגומים בפקולטה. היו שם ארבעים ושמונה צינורות טורפדו להלחים.

כשסיים, לא סמכתי על ניסים, לקחתי שוב את ג'וני, קניתי עוד בקבוק, הוא בדק, צילם את כל העסק. הפעם הכול זרם והולחם.

בהתכנסות בבנין הפקולטה לציון יובל חמישים שנה להקמתה, סיפר לאנשי הפקולטה על ההתחלות, על חייו ופועלו של סידני גולדסטין ועל הקמת נקבות הרוח. על הלוח הקרין שקף: שרטוט שיטת ההלחמה של המכלים. המכלים משמשים את צרכי הפקולטה ולא צרכי לימוד והוראה בלבד, זה למעלה מחמישים שנה. ישנה עייפות החומר, הזכיר לשומעיו, וכדאי לבצע בדק בית. בכך ביטא את האחריות שחש לאורך שנים על תקינות ובטיחות המערכת ואת האמון שהאציל לדור ההמשך.

4



הוראה

הוראה

במכתב ששלחנו לבוגרי הפקולטה כתבנו: לפני חודשים ספורים הלך לבית עולמו אבינו, שכל כך אהבנו והערכנו. אחד מהמפעלים החשובים של חייו, ואולי החשוב בהם, היה חלקו בהקמת הפקולטה והרבצת תורת הזרימה, התרמודינמיקה והאירודינמיקה משך שלושים וחמש שנה. אבא אהב מאוד את הפקולטה והיא היתה 'ביתו השני' משך עשרות שנים. בסיום המכתב ביקשנו: אם יש באמתחתך סיפור או זכרון מסוים שקשור אליו, אולי משהו שכתב או תמונה, נשמח לקבל כל חומר.

מפעים היה המבט הקולקטיבי שהצטייר מתוך המכתבים שקיבלנו.

זה ארבע עשרה שנה שאני מרצה בכיר בפקולטה, ואני מקפיד לספר לסטודנטים שלי בפגישתנו הראשונה את הסיפור להלן: 'כשהתקבלתי לפקולטה לאירונאוטיקה, ישבתי כמוכם כאן באודיטוריום עם חברי הסטודנטים לשיחת הכרות עם סגל המרצים. כל מרצה אמר כמה מלים אבל זכורות לי במיוחד מלותיו של פרופ' כוגן: 'אינכם משערים איזה עולם מופלא עומד להתגלות בפניכם בהגיעכם לשערי הפקולטה.' משפט קצר שמגלם בתוכו כל כך הרבה. משפט שמראה עד כמה אהב הפרופסור את עיסוקו, עד כמה ראה בעולם התעופה, הפיתוח והמחקר עולם מופלא ועד כמה רצה לשתף אותנו הצעירים בחווית הלימוד והיצירה. מלים אלו ריגשו אותי אז ופי כמה יותר היום כשאני מנחיל אותן לכם, הסטודנטים החדשים. במלותיו הקצרות היטיב לתאר פרופ' כוגן את חווית הלימוד ואת חוויותי כמהנדס אירונאוטי מתכנן ויוצר.

דרור ארצי

תורת הזרימה נראתה בעיני כספר חתום או כתורת הנסתר, אך באופן הפשוט, הבהיר והמדויק שבו בחר אברהם ללמדנו נפתח לנו צוהר להבנה ראשונה של תורה מורכבת זו. יחודו של אברהם בכך שגם נושא סבוך הדורש ידע רב במתמטיקה, היה מפרקו לגורמים פשוטים ומובנים יותר ומרכיבו מחדש להשלים את התמונה וההבנה.

ימי הפקולטה בזמני נדמו לי כימי הפלמ"ח. כסטודנטים בקורס ג' וד' הועסקנו במעבדה בתכנון ובנית דגמים פרי דמיון המרצים ותוספת נופך מדמיוננו אנו. האוירה בכלל היתה לא מאוד רשמית. בין הסטודנטים היתה חברות מלאה ללא סממני תחרות. היתה אווירה של חלוציות, כשאת הכול דרוש היה להמציא יש מאין.

אסא ניצן

אברהם היה מדמויות המופת של המחלקה. כיום כשאני מלמד בפקולטה ומתבונן ביחסי מרצים - סטודנטים, אני מציין לעצמי שהדברים השתנו ללא הכר. הן משום שהזמנים השתנו, אך בעיקר משום שענקים כמו אברהם כבר לא קיימים.

תמיד זכרתי את גישתו המעמיקה והיסודית, וכשלימדתי אחרים תמיד שאלתי את עצמי: 'מה אברהם היה אומר על זה, ואיך אברהם היה מלמד את זה.'

הוא היה לא רק מורה דגול; לפעמים כשהייתי יורד למנהרות הרוח, הייתי רואה אותו עומד בגופיה עם מקדח בידו, מבצע בעצמו את כל עבודות הטכנאות שהיו נדרשות לצורך הניסויים. אם היום יש לנו פקולטה נהדרת לאוירונאוטיקה בטכניון, היא קיימת בזכות אנשים כמו אברהם.

נתן פרבר

תרמודינמיקה הינו מקצוע מורכב, יוצא דופן ולא לגמרי מובן לסטודנט בסיום המקצועות היסודיים ובתחילת ההתמקצעות. אתגר קשה. אבל הוא לימד אותנו בדרך קלה ומובנת, תוך הקניית היסודות הכל כך חשובים להמון מקצועות המשך: זרימה, מעבר חום, מדעי הטיסה. גם אז וגם היום, אני חושב שהוא היה איש מיוחד ויוצא דופן. הוא לא היה אחד הפרופסורים ה'מעונבים'. איש בעל יכולות גבוהות ויחד עם זאת צנוע ואמיתי. אני גאה להימנות בין תלמידיו.

אדריאן אברמוביץ

אני זוכר את פרופ' כוגן כמי שהיה מורה של הסטודנטים ורצה בהצלחתם ובטובתם כאבא מסור לילדיו. לא פעם נשאר בכיתה בשעת ההפסקה כדי לענות לשאלות הסטודנטים על החומר הנלמד. למרות שמקצוע התרמודינמיקה אותו לימד בכתתנו היה הקשה מכולם, הרי אצלו נראו האנטרופיה והאנטלפיה פחות מפחידים ממה שהם באמת.

יהודה טראו

למדתי אצל פרופ' כוגן תרמודינמיקה במשך שני סמסטרים בשנת תשכ"ז בהיותי בקורס ג' בפקולטה לאוירונאוטיקה. זו איננה תקופה ארוכה, אך העובדה שעד היום הנני חש כי נטעו בי שורשים עמוקים באותה עת מעידה על היחודיות שלו.

מקצוע התרמודינמיקה היה ידוע כקשה להוראה ועל אחת כמה וכמה להבנה, ולכן גם הטיל מורא על כל הסטודנטים. מהרגע הראשון שנכנס פרופ' כוגן לכתה נוצרה אורה של הקשבה דרוכה והרבה יראת כבוד. הרגשנו כי השיעורים היו מוכנים היטב, עם השקעה רבה ותשומת לב לפרטים הקשים והרבה מאוד סבלנות בהבהרת הנושאים הסבוכים במהלך השיעור.

מכיון שגם את התואר השני והשלישי עשיתי בפקולטה לאוירונאוטיקה, יכולתי לעקוב אחריו גם בשנים הבאות. אז החל להתעניין בניצול אנרגיית הרוח ומאוחר יותר בהמתקת מים. אני זוכר שהיה נוסע בטכניון עם מכוניתו כשעל גגה הותקן דגם של טורבינת

רוח. אני חייב לציין כי רעיון זה של שימוש במכונית לניסוי אוירודינמי נתן לי השראה בעבודתי ברפא"ל ומימשתי את הרעיון בכמה הזדמנויות. דגם הטורבינה היה בנוי ברובו מעץ, והסיפור שהסתובב בפקולטה היה שפרופ' כוגן בנה אותו בעצמו בהיותו נגר חובב עם ביצועים מקצועיים.

בכל פעם שעברתי באותה תקופה את גשר פז הישן לכוון חוף שמן, הבטתי אל מתקן ההתפלה הניסיוני שנבנה שם בהנחיתו. מעניין לדעת מה עלה בגורל שיטת ההתפלה שהמציא.

אברהם דוידוביץ

פרופ' כוגן היה מרצה דגול, למדתי אצלו את תורת הזרימה. הוא היה יסודי, רהוט ורב גווני. תמיד אזכור אותו כמרצה מעולה, איש נעים הליכות והוגן.

יורם רביב

עליתי ארצה ב 64' וישר התחלתי ללמוד בפקולטה. הייתי די עסוק בהישרדות (שפה, לימודים) ולכן, בתקופה זו פחות שמתי לב לאנשים; יחד עם זה, נשארה בזיכרוני דמותו של פרופ' כוגן: מקצועי, רציני ומעל הכול, על פי הרגשתי - בן אדם. הערכתי מאוד האנושיות שבו.

אילן הורוביץ

הגענו לפקולטה כמחזור מגובש, לאחר טירונות וקורס מכי"ם. מעט חבר'ה מבוגרים יותר השלימו את החבורה והשתלבו בה היטב. הקורס הראשון שלמדנו אצל פרופ' כוגן היה תרמודינמיקה 1. המחצית הראשונה של הקורס הוקדשה לחשבון וקטורים, המרת יחידות וכיוצא באלו נושאים בסיסיים. המחצית השנייה כללה הכרת מושגי יסוד תרמודינמיים והפנמת השימוש הכמותי בהם. רציני, הגון וידען גדול הוביל אותנו מן הקל אל הכבד. בסמסטר הבא כבר למדנו עם פרופ' כוגן תרמודינמיקה 2. האוירה הרצינית השתלטה עלינו והעבודה

בכתה היתה שקטה ועניינית. אעיר שאיש לא 'הבריז' והקורס נמנה עם אחד הרציניים יותר באותו סמסטר. הקורס האחרון שלמדתי אצל פרופ' כוגן היה קורס אוירודינמיקה 1 למוסמכים במסגרת לימודי תואר שני. קורס מתמטי 'כבד' עם פיתוחים מורכבים ושילוב חוקים פיזיקליים ומתמטיים לכדי ביטויים שימושיים. קורס זה הותיר 'צלכת' ברורה בתודעה, והמרשים ביותר היה שאברהם לימדו ללא שימוש בחומר עזר או רשימות, פשוט הכול מהראש. גם כיום כשאני מעיין ברשימותי, התוכן מרשים, ברמה גבוהה מאוד אשר מעט מרצים היו מתעמתים איתה פרונטלית מול כיתה, ומעורר הערכה רבה לאיש. לא היו 'מתנות חנם' בציונים אולם מאידך הבחינה והעבודות היו הוגנות ביותר. איש לא יכול היה להתלונן על יחס לא הוגן או מפלה. בכוונתי לקרוא את חומר קורס זה (לא קריאה קלה במרחק השנים) וללומדו שנית. באופן זה זכרו יהיה עמי עוד מעט.

גיל בן פורת

עבדתי במחיצתו של פרופ' כוגן משך שנה תמימה בפרויקט החציתעשייתי במתקן להמתקת מי ים שהקים (הקפיד על הביטוי 'המתקה' ולא 'התפלה') בתחנת הכוח חיפה ג'.

המתקן פעל בשיטת הרתחה בזיקוק רב שלבי בטמפ' נמוכה על ידי לחץ נמוך תת-אטמוספרי. המים התחילו לרתוח מטמפ' 38 מעלות צלזיוס ומעלה. מקור האנרגיה להרתחת המים ולהשגת הריק הנדרש הגיע מפליטת הטורבינות של תחנת הכוח.

שעות העבודה שלנו מ 08:00 בבוקר ועד 22:00 ארבע עשר שעות ביממה, מלבד בימי הלחץ.

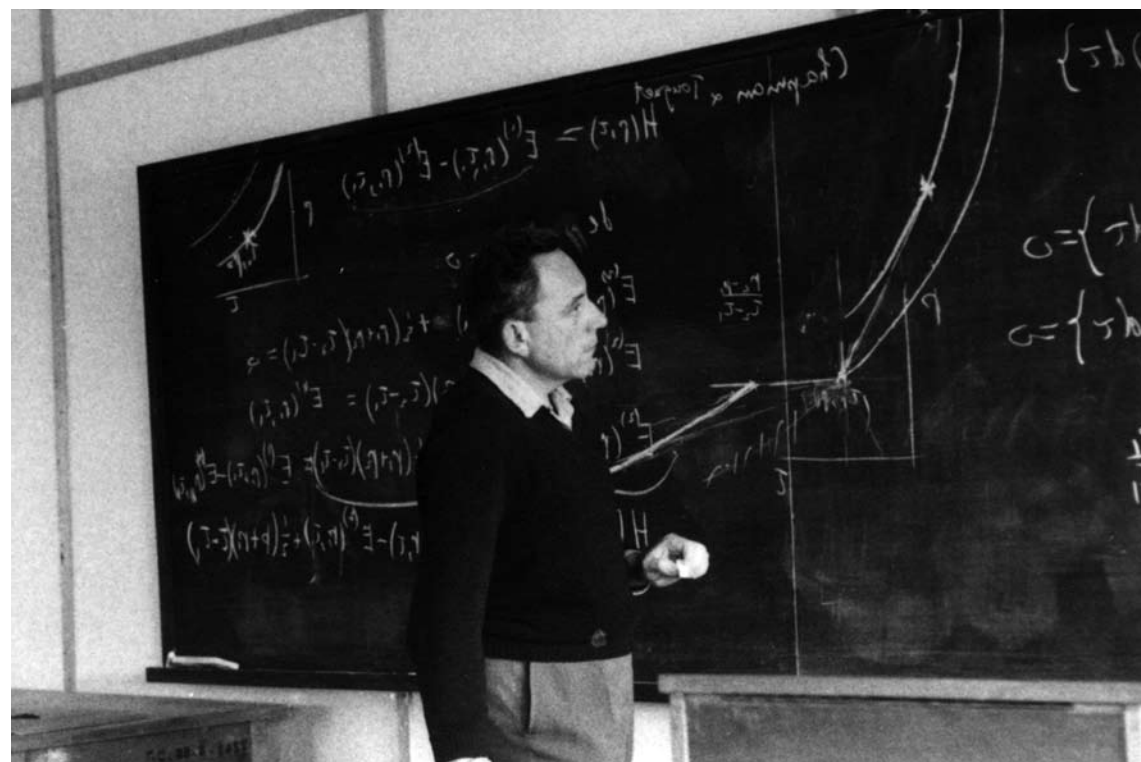
במיזם זה עבדו ששה מסגרים ורתכים מנוסים (בהם רתכי קצא"א - קו צינור הנפט אילת אשקלון). כל העובדים היו מסורים ונאמנים לפרופ' כוגן בכל מאוּדָם, וראו בעבודתם מפעל ציוני, במלוא מובן המלה.

המתקן החצי-חרושתית התנשא לגובה של 12 מטר. אף שהוא הפקיד בידי את חישובי החוזק למרפסות, דרש וקיבל הנמקות לכל החלטה. פרופ' כוגן לא סמך על אף אחד, על שום תיאוריה. כל דבר חייב בדיקה ועבודת רגליים ושטח.

לדוגמא: לצורך המיזם המציא מחליף חום דרך צינורות פלסטיק. חיסכון עצום בצינורות נחושת יקרים. צינורות הפלסטיק נשלחו אליו עם תנאי הפעלה (ספציפיקציות) מפורטים מחברת דו-פונט, חברה בעלת מוניטין עולמיים. הוא לא סמך עליהם! במעבדות הפקולטה שהועמדו לרשותו בצענו בדיקות עמידות בלחץ וחום בדיאפרגמות מיילאר שתכליתן לשמש כשסתום פורק וביטחון לאותן צינורות. תמיד אמר לי: מאמרים מדעיים זה יפה ומרשים, אבל צריך לקום מהכסא במשרד ולוודא את הדבר בשטח. לא עבדנו אז עם מחשב ועם תוכנות הדמייה, רק ראש, ידיים, רגליים, סרגל חישוב והרבה רצון ולב טוב. השרטוטים נעשו בעיפרון בדרגות קושי ועובי שונות, ונחתמו בדיו רוטרינג בעוביים שונים, כנדרש בתקן ההנדסי.

מה למדתי ממנו: מוסר עבודה. הגינות וישרות מוחלטת. אין קיצורי דרך. אהבת רכישת המידע והמדע. 'לא המדרש עיקר אלא המעשה'. אל תסמוך על אף אחד, בדוק כל דבר בעצמך. 'האמת נמצאת בפרטים הקטנים'.

מיכאל בן חורין



אותו ולאהוב את המקצוע. עד היום אני נעזר בתורה שלמדתי ממנו אז להכנת מודלים של חישוב ולפתרון בעיות הנדסיות.

בנוסף על עבודתו בכתה, אברהם פיתח מעבדת סטודנטים להדגמת חומר ההוראה באוירודינמיקה. בוקר אחד פגשנו אותו במעבדה כשעיניו אדומות ועייפות. לא היה קשה לנחש שהוא עבד במעבדה כל אותו לילה, על מנת להשלים את מערך הניסוי.

כשהוקמה האגודה הישראלית לאסטרונומיקה נסענו עם אברהם לנס היסוד. אחת הפינינים שלמדתי ממנו בנסיעה זו היתה דיונת החול כמשל: המדע משול לדיונת חול שנעה ומשתנה כל הזמן. אין לדעת מראש מי יהיה בראש ומי בבסיס. מי שנמצא ברגע מסוים בראש עלול למצוא את עצמו ברובד נמוך ולהיפך. הלקח שלי מאותה שיחה היה ועודו שאין לרדוף אחר הצמרת, אלא לשאוף לאיכות גבוהה. מי שיצטיין באיכות יגיע גם לפסגה.

נזכור אותו כאחד מחלוצי ההנדסה האוירונאוטית, כמורה ומחנך. חבל על דאבדין ולא משתכחין.

אשר סיגל

אני בוגר מחזור ב' של המחלקה דאז להנדסה אוירונאוטית ומתייחס בדברי לשנת '58 בה הייתי סטודנט שנה ג'. בשנתיים הראשונות למדנו בעיקר את מקצועות התשתית; מתמטיקה ופיזיקה, חומרים ותהליכים. בשנה השלישית התחלנו בלימוד המקצועות היחודיים להנדסה אוירונאוטית ובעיקר אוירודינמיקה, תורת האלסטיות, בקרה. באותה שנה ביקר בפקולטה למתמטיקה של הטכניון פרופ' שיפר מאוניברסיטת סטנפורד הידועה. הוא לימד קורס אוירודינמיקה במסגרת לימודי מוסמכים. לימים התברר לי שהקורס היה מבוסס על מקצוע חובה למועמדים לתואר שלישי בסטנפורד. הקורס היה אנליטי מאוד והניח שהמשתתפים שולטים בכלים המתמטיים. הפקולטה שלחה אותנו המתחילים, להשתתף בקורס זה יחד עם המשתלמים וחברי הסגל של הפקולטה למתמטיקה. לא היה לנו סיכוי סביר להתמודד עם הרמה והיקף חומר הלימודים. כאן נכנס לתמונה אברהם שמחל על כבודו ולמרות שהיה מרצה, התנדב להיות איש הביניים שחזר ועבר אתנו על החומר. הוא הבהיר את האנליזה וחשוב מכך, הוא קשר אותה לתהליכים הפיזיקליים והתרמודינמיים. הקשרים האלו גרמו לי להבין את הקשר שבין החומר למודלים המתמטיים המתארים

לאברהם היתה הזכות הגדולה להימנות עם ראשוני הפקולטה להנדסה אוירונאוטית, להניח את היסודות לפעילות האירונאוטית בארץ ולהתוות את דרכה של הפקולטה לאורך עשרות בשנים. גם בחלקי נפלה זכות גדולה, אני הייתי התלמיד הראשון לתואר גבוה (מגיסטר) שאברהם הנחה, ועבורי היתה זו חוויה שהנחתה אותי לאורך כל חיי המקצועיים.

לאברהם היתה ראייה רחבה הן בפן המקצועי והן בפן הארגוני. היתה לו סמכותיות מאגית, מנהיגות, יכולת ניתוח והסתכלות בהירה שבעזרתן הצליח לפשט בעיות מורכבות ולהוביל להחלטות נבונות. בזכות כל אלה היה אברהם גם מורה בחסד שהוערך על ידי כל תלמידיו. הוא ניחן ביושר מקצועי וביושר אישי שהיוו דוגמא אישית לכולנו.

אברהם היה אידיאליסט מבחינה מקצועית. הוא חשב, ובצדק רב, שנושא התפלת המים הוא נושא חשוב ממדרגה ראשונה למדינת ישראל, ונרתם למשימה. גם המוטיבציה לעיסוקו בניצול אנרגית השמש נעוצה בחשיבות העצומה שייחס למחקר בתחום זה עבור מדינת ישראל. לא אפריז אם אומר שעיסוקיו של אברהם ועבודותיו מאפיינות חלוץ. חלוץ שאהב מאוד את המדינה, רצה

בכל מאודו לקדם אותה, איתר שטחי פעולה מדעיים חשובים למדינה, ותרם לה מיכולותיו הרבות וממרצו הבלתי נדלה.

אליהו ניסים

פרופ' אברהם כוגן היה מורי בקורס ג'. הייתי עתודאי צעיר ויראתי ממנו יראה רבה. היה לנו אליו כבוד רב כי היה רציני וכבד ראש, אם כי היה לו הומור. נוהג היה להתכונן לפני כל שיעור. הסיפור האישי הבא ממחיש את יחסי אליו: באחד השיעורים התנדבתי לפתור תרגיל על הלוח. התחלתי לכתוב ולדבר בו זמנית כשפני אל הלוח. בעקבות הערה של 'לא שומעים' אמר לי פרופ' כוגן 'נא דבר בקול רם יותר'. ללא היסוס מחקתי את הכתוב על הלוח והתחלתי לכתוב בכתב גדול יותר. כשתפסתי את טעותי פניתי לאחור והוא עמד וחייך את חיוכו הקטן.

לפני שנים ספורות פגשתי בו ברחוב ונגשתי אליו. למרות הזמן הרב שחלף הוא זכר אותי לשמחתי כי רבה. אשמור לו פינה חמה בלבי.

נפתלי עמית (גוטליב)

פרופ' כוגן דרש דברים שמרצים אחרים לא דרשו. כמתרגל בתרמודינמיקה באתי אליו כל שבוע, די זמן לפני התרגיל על מנת להראות לו מה הכנתי. הוא בדק, העיר הערות, תמיד חשובות, תיקן, וכשהיה בטוח שהכול כפי שצריך להיות, הוא אישר. בנוסף, הוא חייב אותי לבדוק את כל תרגילי הסטודנטים אחד אחד, בקפדנות. לא באופן מדגמי ולא שבוע כן שבוע לא. כל שבוע הוא בא לשיעור התרגיל, ישב בספסל האחרון וכשהיה צורך העיר הערה. אני גם חויבתי להגיע לכל השיעורים שלו, כדי לדעת מה בדיוק הוא לימד ומה הסטודנטים שאלו. אחרי השיעור היה דיון אצלו במשרד: מה עלי לעשות בתרגיל, איזה נושא להדגיש, מה לדרוש.

בסמסטר הראשון של עבודתנו לא נתן לי לחבר שאלות לבחינה, הכול עשה לבד, כולל בדיקת הבחינה. בסמסטר השני אפשר לי לחבר שאלה, וגם אז הוא 'טיפל' בה. הוא גם נתן לי לבדוק את התשובות, אבל עבר על הבדיקה ושינה את הציון שלי כאשר מצא לנכון.

הרבה למדתי ממנו. היתה לו גישה יחודית.

כאשר הוא לימד, כל הגוף שלו דיבר. כשאמר 'הגז דוחף' הוא עשה גם תנועה עם הכתף, כאילו הוא הגז - והוא דוחף. כשדיבר לא היה איש ברור וקוהרנטי ממנו.

בני נתן

למדתי אצל פרופ' כוגן לפני כעשרים ושמונה שנה תרמודינמיקה, ומבחינה לימודית אני זוכר שהסבריו היו מעניינים, כראוי למי שתופס את תפקידו כמחנך, ולא רק כחובת חבר סגל באקדמיה. עוד יותר בבירור אני זוכר בתחושה את המפגש עמו בפרוזדורי הפקולטה. בתור סטודנט שנה ב' (וצעיר שנים כעתודאי) יראת כבוד אל פרופסורים עוד היתה אז בנמצא. יחד עם זאת, בחליפה על פניו היתה נינוחות שהוא השרה, מן אנושיות, אשר ריככה את היראה. כנראה בזכות המבט האבהי האוהד, החיוך. אני משוכנע שהוא היה מופת לא רק בתחום התרמו (אני זוכר שהיה שותף לפיתוח מגני חום של מעבורות החלל) ובתחום ההוראה, אלא גם בתחומים אחרים אותם לא הכרתי.

ברוך קארפ

את פרופ' אברהם כוגן (אז עדיין פרופסור משנה) הכרנו לראשונה בקורס ב' של מחזורנו (מחזור ה' של הפקולטה). היתה זו השנה הראשונה בה למדנו מקצועות הקשורים ישירות לאווירונאוטיקה. הופעתו, רצינותו ומבטו המרוחק השרו עלינו, הסטודנטים הצעירים, יראה מסוימת מפני הבאות, כוון שהיה ברור כי כאן מדובר בלימוד חומר רציני וכבד שלאיש מאתנו לא היה בו מושג קלוש עד אז (שדות זרימה פוטנציאלית, ולימים הוכנסו גם לתחום זרימות דחיסות). אולם, כדרכם של תלמידים, הקשבנו בתחילה בחצי אוזן ורשמנו פה ושם הערות בכתב יד על דפים בודדים, אך עדיין ללא התייחסות רצינית מצדנו, כי חשבנו לתת לעניינים להתפתח כדי להחליט בעתיד כיצד להתייחס לנושא עצמו והיכן כדאי להשקיע מאמצי לימוד... ואולם לפרופ' כוגן היו שיטות משלו כדי להבטיח תשומת לב והקשבה. כבר בהרצאתו השניה או השלישית קרא לאחד הסטודנטים אל הלוח כדי לפתח נוסחת Del בחשבון וקטורי. הסטודנט הראשון הודיע ממקום ישיבתו כי אין לו מושג במה מדובר. השני, אמיץ יותר, הגיע עד ללוח וקפא לחלוטין לידו. ואילו השלישי הצליח בדחילו ורחימו לרשום

על הלוח משהו דומה לנוסחה המבוקשת ואז נדם וחזר למקומו.

בעקבות הצגה אומללה זו הוציא פרופ' כוגן פנקס שחור קטן, ורשם בו דבר מה, וכולנו חשנו כי נגזר דיננו ובקורס הזה כבר לא נזכה לציון מעבר. אלא שתוצאת הארוע היתה, כי מאותו רגע לאורך כל התקופה בה למדנו אצל פרופ' כוגן היתה ההקשבה מלאה ואיש לא העז להוציא הגה ולהפריע - מחשש פן יצא אותו פנקס שחור קטן שוב, מבלי שאיש ידע מה נכתב בו ומה השפעתו על גורלנו...

למען האמת, אותו פנקס מפחיד הופיע הופעה יחידה אך ורק באותה הפעם, ומאז לא נראה יותר. ואולם האפקט של הקשבה ותשומת לב הושג במלואו. בסיכום (ובראיה לאחור של חמישים שנה) נראה כי הקורסים אותם העביר לנו פרופ' כוגן היו בין המעולים ביותר וזכו לתשומת לבנו המלאה לכל ארכם!

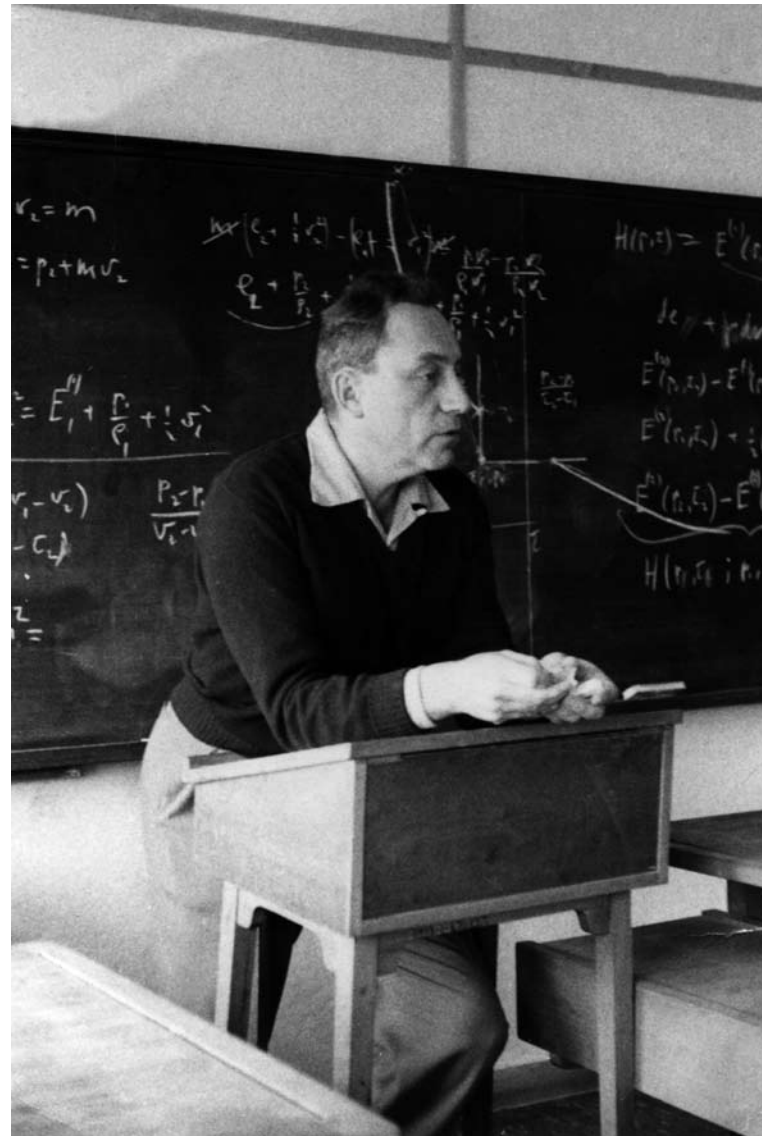
גבי אלוני

למדתי אצל אברהם כוגן את תורת הזרימה בשנה האחרונה ללימודי בפקולטה. מסלול חיי המקצועיים לא הפגיש אותנו מאז סיום לימודי לפני כארבעים וארבע שנים. עם זאת למרות שלמעשה לימד אותי סמסטר אחד בלבד, מבין כל מורי נשארה אישיותו חקוקה היטב בזכרוני כמדען וכמורה משכמו ומעלה. היינו קבוצת סטודנטים קטנה, ערנית, תוססת ורעשנית שלא היה קל לרסנה. ברגע שנכנס לכתה, די היה בנוכחותו כדי לעורר מורא של כבוד עד האחרון שבנו. מבטו מילא את החלל ולא היה אחד שלא הרגיש שדבריו מכוונים ישירות אליו. לשיעור כזה אינך יכול לבוא כשאינך מוכן.

דוד פלד

את פרופ' כוגן הכרתי היטב, בהיותי מתרגל שלו במקצוע התרמודינמיקה, כאשר הייתי בשנת המועמדות לתואר השלישי. פרופ' כוגן היה משכמו ומעלה והבין ממש את הפיזיקה של הזרימה. הוא כאילו 'חי' את התנועה המולקולרית, בין שהיא בתורת הרצף ובין אם לאו. אתן דוגמא של מקוריות המחשבה הפורצת גבולות היצירתיות: ליצירת מים כבדים דרושות צנטריפוגות, ואולם מהנדס אוירונאוטי יצירתי ישתמש בגל הים בכדי לסובב את הזרימה וכך ליצור כוח צנטריפטלי שמפריד אטומים כבדים מאטומים קלים בטמפרטורה גבוהה מאד ובלחץ נמוך.

דוד לרדו



הסברים ונימוקים. מיותר לציין שבסיום התקבלה הנוסחה עם הספרה 2 במכנה.

וסיפור לאחר 41 שנה :

בכנס לציון 40 שנה לסיום הלימודים סיפר לי את הסיפור הבא, בתשובה לשאלתי כיצד הוא מעביר את זמנו לאחר הפרישה מההוראה: לאחר הפרישה, מספר הוא לי, פניתי לבתי ספר תיכוניים והצעתי ללמד מתמטיקה בהתנדבות. 'בוודאי קיבלו אותך בזרועות פתוחות' אמרתי. 'לא' הוא ענה, 'דרשו ממני להציג תעודת הסמכה להוראה... אז חזרתי למעבדה במכון וייצמן'.

נעם כפיר

פרופ' כוגן לימד אותי תרמודינמיקה לפני ארבעים וחמש שנה. הייתי סטודנט מאוד צעיר והתרשמתי מנועם הליכותיו, אדיבותו ונימוסיו תוך סמכותיות שקטה ובוטחת. אני מקווה שתמצאו נחמה בהישגיו המדעיים וברושם החזק הנמשך לאורך שנים שעשה אביכם על דורות רבים של סטודנטים.

א. תירוש

כידוע לכל, מקצוע האוירודינמיקה היה בין הקשים ללימוד. פרופ' כוגן שלט בחומר ללא מיצרים וללא הזדקקות לשימוש בחומר כתוב במשך השיעור. הוא היה מפתח את הנוסחאות המסובכות ביותר על הלוח בליווי הסברים על העקרונות הפיזיקליים. יום אחד, לאחר השלמת הפיתוח על הלוח, מצביע הגאון של הכיתה ואומר שהוא עיין בספר האוירודינמיקה ושם מופיעה אותה נוסחה, אך בתוספת הספרה 2 במכנה. פרופ' כוגן, המורה הדגול, לא התבלבל ואמר שגם את זאת אפשר להוכיח. הלוח העמוס לעייפה נמחק, והנוסחה פותחה מחדש בליווי

לראשונה פגשתי את פרופ' כוגן בשנת '56 עוד בהיותי תלמיד שמינית בבית הספר התיכון. ומעשה שהיה כך היה: באותה עת אפשר משרד החינוך לתלמידי שמינית להגיש עבודה ובתמורה ניתן היה להשתחרר מאחת מבחינות הבגרות. החלטתי לכתוב עבודה באירודינמיקה ברמה כזאת שתאפשר לי להשתחרר מהבחינה בכימיה.

נושא עבודתי היה 'אירודינמיקה תת־קולית של הכנף'. תארו לכם צעיר בן שבע עשרה האוסף חומר מכל הבא ליד - כולל ביקורים בספריה הצנועה של הפקולטה הצעירה לאירונאוטיקה - כותב עבודה, ומדפיס אותה על סטנסילים (כן, היה דבר כזה אז. הדפסנו במכונת כתיבה על שעוויות מיוחדות, ותיקון כל שגיאת הדפסה היה כרוך בעבודה אדירה...) הגשתי את העבודה דרך הנהלת בית ספרי, תיכון טשרניחובסקי בנתניה.

זמן מה לאחר הגשת העבודה קיבלתי מכתב מפרופ' אברהם כוגן בטכניון. הוא קיבל את העבודה ממשרד החינוך לבדיקה. פרופ' כוגן הזמין אותי לפגישה בה הייתי אמור 'להיבחן' על העבודה, ולהוכיח כי אכן אני כתבתי אותה ואני מבין מה כתוב בה.

בדחילו ורחימו התייצבתי בפקולטה בחיפה ופגשתי את פרופ' כוגן. בסופה של הפגישה יצאתי מעודד, ואכן זמן קצר לאחר מכן קבלתי ממשרד החינוך את האישור לא להיבחן בכימיה. זה לא עזר לי. לימים התחתנתי עם כימאית, כך שלא יכולתי להימנע מידע מסוים במקצוע זה...

סיפרתי לידיד של אבי, מר פאול לנדוור מנתניה, כי פגשתי את פרופ' כוגן בטכניון. פאול סיפר לי כי היה עם אברהם במחנה עבודה שהקימו הגרמנים ברומניה בעת מלחמת העולם. הוא סיפר כי הם היו צריכים לחצוב אבנים במחצבה, וכי אברהם היה ניגש לעבודה בצורה מדעית, באומרו כי 'על מנת לחצוב את האבן הזאת, צריך להכות בה במקום זה ובכוון זה' והדבר צלח בידו. הספקו היה גבוה משל רעיו למחנה.

שנה מאוחר יותר כבר פגשתי את פרופ' כוגן כסטודנט לאירונאוטיקה, במחזור ד' של הפקולטה.

גיורא מימון

זכיתי ללמוד אצל פרופ' כוגן את מקצועות התרמודינמיקה בשנת '82-'83 לקראת תואר ראשון.

זכור לי כי בשנים אלו התפרסמה בתקשורת 'המצאת מרידור' וכזכור ההמולה התקשורתית והסקרנות המדעית היו עצומים. באותה תקופה בדיוק למדתי בקורס תרמודינמיקה אצל פרופ' כוגן. זוכר אני בוחן אמצע סמסטר בו היתה שאלה בנושא מחזור תרמודינמי ואנטרופיה, ולמעשה אף אחד בכיתה לא בדיוק הצליח בפתרונה. בשיעור שלאחר המבחן הציג לנו פרופ' כוגן את הפתרון והסביר שהוא נתן לנו שאלה זו בכדי להבין את הבסיס לכלי, שאתו למעשה אפשר לבחון את משפט הקיום להמצאת מרידור. בדיעבד התברר לנו משמועות כי פרופ' כוגן היה חבר בוועדה הממשלתית שבחנה את המצאת מרידור.

באותה תקופה התחילו הטיסות במעבורת החלל. באחת ההזדמנויות בהן ביקרתי בחדרו של פרופ' כוגן בפקולטה נתקלו עיני בתעודת הוקרה מרשימה מ־ NASA - סוכנות החלל האמריקאית. התעודה ציינה לשבח את תרומתו של פרופ' כוגן בתכנון אריחי המגן הקרמיים. דבר זה מאוד הרשים אותי וזכורני, כי תקופה ארוכה אחר־כך המשכתי

לספר לחברים ולבני משפחה בגאווה רבה כי למדתי אצל הפרופסור שהיה שותף בפתרון אחת הבעיות הקריטיות של חדירת כלי מאויש לאטמוספירה.

בן־עזרא פרוספר

מכיון שלמדתי הנדסת אירונאוטיקה בטכניון רק בשנים האחרונות, הכרתי את פרופ' כוגן דווקא במכון ויצמן. לפני כחמש שנים השתתפתי בתכנית קיץ במכון, במגדל השמש אצל פרופ' כוגן. כבר מהשיחה הראשונה אצלו ראיתי שהולך להיות קיץ מעניין. אברהם שילב התלהבות מהמחקר ומהאפשרויות שבו עם יסודיות וירידה לפרטים, ולמרות שעבדתי אתו צמוד רק שלושה חודשים, אני רוצה להאמין שלמדתי ממנו הרבה באותו קיץ. לאחר שסיימתי את התואר בפקולטה, המשכתי למכון ויצמן וסיימתי לאחרונה מסטר, שנעשה על אותם ארוסולים שאברהם ניצל באותו תכנון מבריק של ריאקטור הטורנדו הסולרי. המחקר שלי לא נעשה תחת אברהם, אך טרחתני לבקר מדי פעם במגדל ולראות איך הוא ושמואל מתקדמים.

חנן לוי

5



מחקר ופיתוח

איש המחקר והפיתוח

מגיל צעיר אני זוכר את אבא עוסק ביצירה בתחום המדעי. בשנות העבודה על תהליך ההתפלה היה לוקח אותי למעבדה בפקולטה, מסביר לי את הבעיות, ומראה את הפתרונות עם התקדמות ההקמה של השלבים השונים. בהתחלה האקווריום הקטן שהדגים את עקרון מעבר האדים דרך המים המתוקים. בהמשך, פרוסת מתקן אנכית שתפסה כמעט את כל החדר, בתוכה מחיצות עשויות מלוחות ברזל. הלוחות מעוגלים ומעוצבים בצורות הידרודינמיות כדי לאפשר למים החמים לעבור בנוחיות משלב לשלב במעלה המסלול, תוך ניצול הרתיחה שלהם. אני זוכר את המערכה הסיזיפית נגד דליפות הוואקום, ואחרי שהכול 'ניגן' היתה התלהבות מניסויי הפריצה המוצלחים, שצולמו מבעד לדופן השקופה בהמון תרחישים.

בחופשות באילת היה מצרף אותי לביקורים מקצועיים במתקני ההתפלה באזור. בהמשך הגעתי כמה פעמים למתקן שהקים בחברת החשמל והתרשמתי מההקמה ומהניסויים במתקן החצי חרושתי. רק היום אני חושב שאני יודע להעריך את גודל העשייה שהיתה שם. למרות שהוא הפעיל קבוצה של עובדים, הוא עשה הרבה מאוד בעצמו. הוא היה הממציא, היזם, המתכנן הראשי, מנהל הניסויים, מנתח את התוצאות ומחליט על השיפורים, מוצא את התקציבים, וקושר את הקשרים עם עמיתים ושותפים, מגייס את העובדים, מנהל את העבודה, וכשמשו נתקע, נוסע בעצמו לאן שצריך, קונה מה שחסר, ומביא ברכב הפרטי שלו.

אחרי שנים רבות, כשיצא לפנסיה מהטכניון הוא נענה בנפש חפצה להצעתו של ישראל דוסטובסקי ממכון ויצמן להקים מעבדת מחקר במגדל השמש. נושא המחקר - הפקת מימן ממים בפירוק ישיר על ידי אנרגיית השמש.

ריכוז השמש וניצול החום בטמפרטורות כה גבוהות מהווה אתגר ברמה גבוהה מאוד, כי הוא נושק לגבולות היכולת בחזית העולמית. אבא נכנס בתנופה לנושא תוך לימוד דיסציפלינות שלא הכיר קודם לכן. מראות, חלונות קוורץ, ממברנות קרמיות, תרמו־קפלים ופירומטרים לטמפרטורות גבוהות, שימוש בגז־כרומוטוגרף, טכניקות קירור, טכניקות מדידת הספק של ראקטור, בדיקת איפוס הפסטות של ההליוסטטים על ידי קמרה אובסקורה...

גם הפעם, הוא היה זה שהמציא את הרעיון, גייס את הנדבנים שתקצבו, תכנן ובנה. מאחר שהתקציב הפעם היה מצומצם עבדו לצדו מעט מאוד עובדים, והוא היה משלים בכוחותיו הוא את כל הנדרש לצורך קידום הפיתוח.

אחרי מספר שנים עבר לנושא הפקת מימן ממתאן בפירוק ישיר על ידי אנרגית שמש. כאן היתה לי הזכות לעבוד לצדו במשך שנתיים, בתור שבתון מרפא"ל. תמיד ידעתי שהוא בעל סבלנות נדירה, התמדה ודבקות במטרה. כעת התברר לי שהוא יכול לקבל הצעה ולנסות כוון חדש בלי שום 'אינרציה' וכלי גינוני אגו. הצעת 'קדימה, תבצע ונראה. היה בו השילוב הנדיר של התמדה וסבלנות, כשצריך, עם היכולת לשנות כוון בקלות, כשצריך.

הוא היה מגלה איפה יש מומחה לפילטרים ואיפה יש מומחה לריתוכים מיוחדים, מאיפה קונים חומרי גלם קרמיים וחלונות קוורץ ואיפה מונחות בשוודיה מראות ענקיות מעודפי המלחמה...

כל הזמן הוא למד איך עושים דברים לבד. איך מְרַפִּים צינור נחושת כדי שניתן יהיה לכוּפֵף אותו, איך קודחים חור בזכוכית, איך מדביקים מראה כך שלא יהיו בדבק בועות, איך יוצקים ראקטור מצירקוניה, איך מייצרים עשן לניסוי, איך מורידים ציפוי של מראה ואיך מחדשים אותו...

האופטימיות שלו עברה כחוט השני בעיסוקו במחקר. ישנם כאלה שלא מתאמצים: או כי הם פסימיים ואין טעם, או כי הם אופטימיים ואין צורך. אבא ניחן באופטימיות בריאה שתִּדְלֶקֶה

מאמץ רצוף שנפרש על שנים ארוכות. הניסוי הבא יצליח ולכן משנסיים מותניים. עם זאת הוא לא התרפק על חלומות בלתי אפשריים. אם הוא הבין שכאן הגענו לקיר בלתי עביר, מחפשים מה כן ניתן לעשות ומשנים כוון.

במקביל למחקר במכון ויצמן הוא הזמין מחוקרים בטכניון חישובי (CFD) (COMPUTERIZED FLUID DYNAMICS) ובמכון הקרמיקה והסיליקטים פיתחו עבורו קרמיקות עמידות בטמפרטורה גבוהה.

למרות גילו לא היה מפסיד ימי עבודה. במוצאי שבתות אצלנו, היה מזדרז לנסוע לרחובות כדי להתחיל למחרת יום עבודה כרגיל.

הוא כל הזמן תכנן קדימה וחי קדימה. לא היה לו זמן לכתוב זכרונות (למרות שהיו לו זכרונות, הרבה מעבר לאדם רגיל, שנולד וחי את חייו במקום אחד ובעידן אחד, והיתה לו ראייה מקיפה של היריעה ההסטורית, אותה היה פורש לנכדים בהזדמנויות שונות). הסיכומים שכתב היו סיכומי המחקר התקופתיים, ופרסומים בכתבי עת מדעיים. סיכומים אלה כתובים בשפה עשירה ובניסוח בהיר.

גם כשעבר מזמן את יום הולדתו השמונים היה נוסע להרצות על המחקר 'הן בארץ, בפקולטה לאוירונאוטיקה, ברפא"ל, בכנס האוירונאוטי השנתי ובמכון ויצמן, והן בחו"ל במסגרת כנסים מקצועיים, פגישות עם מממנים, ובשנים האחרונות בפגישות התקופתיות של משתתפי הקונסורציום.

בחול המועד פסח האחרון הציג את עבודתו למשפחה ולחברים במצגת מרתקת שהכין עם תרצה, הצעירה בחבורת הנכדים, לרגל בת המצווה שלה. זמן קצר קודם לכן החלו ניסויים מוצלחים בפירוק המתאן, בהם התקבלו פולרינים. כולנו התפעלנו מן המרץ, ההתלהבות וההסברים הבהירים, שהותאמו לקהל המגוון. ניכר היה שהוא חי את מה שהוא עושה.

רוח בערבה

את כל מחקריו מאפיינת ההתבוננות בחוקים הפיזיקליים. 'לאן נושבת הרוח', פשוטו כמשמעו. במאמר המובא כאן, תיאר אבא את המחקר שערך, על מנת לבדוק אפשרות לכנוס ב'שרוול' את הרוח החד כונית הנושבת בערבה.

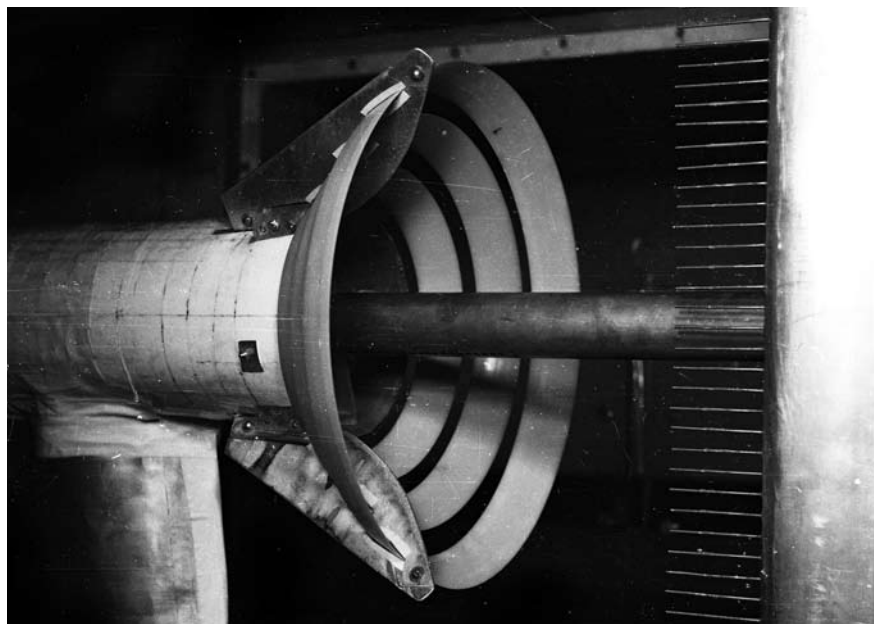
תולדות השימוש באנרגית הרוח

ניצול אנרגית הרוח מיצג אחת הטכנולוגיות העתיקות שפותחו במקומות שונים. הרוח נוצלה במשך דורות רבים להנעת תחנות קמח ולשאיבת מים. בעת החדשה פותחו מקורות אנרגיה זולים ונוחים יותר לשימוש. משלמדו בני אדם לנצל מפלי מים וקיטור לייצור חשמל, הפכה הרוח למקור אנרגיה שולי, אשר ניצולו אינו רווחי. אמנם הרוח מצויה במקומות רבים בעוצמה ובתדירות, אך אם לוקחים בחשבון את הוצאות הקמתן של תחנות רוח ואחזקתן, נקל להיווכח שאנרגית הרוח אינה ניתנת לניצול חינום, שהרי יש לזכור שלרוח כמה תכונות המקשות על ניצולה כמקור לאנרגיה:

1. עוצמת הרוח משתנה עם הגובה מעל פני הקרקע. בשל החיכוך בפני האדמה וההפרעות לזרימת האויר, הנגרמות על ידי קפלי קרקע, עצים, מבנים ועוד, מאבדת הרוח מעוצמתה בשכבה הסמוכה לפני הקרקע. לכן רצוי להגביה את ציר רוטור כפות טחנת הרוח, כדי לנצל את זרם האויר הבלתי מופרע.
2. הרוח משנה את עוצמתה באקראי. טחנת רוח יעילה חייבת להיות מתוכננת לניצול האנרגיה הטמונה ברוח בעלת עוצמה ממוצעת באתר הטחנה, ויחד עם זאת עליה להיות בנויה כך שתחזיק מעמד במשבי הרוח החזקים ביותר העשויים לפקוד אתר זה. לכן רצוי להקנות לכפות של רוטור טחנת הרוח אפשרות להכוונה אוטומטית, על ידי סיבובן סביב ציר עצמן. עם עליית עוצמת הרוח מופנות הכפות בכיוון הקטנת זווית ההתקפה של הרוח כלפיהן. במקרה קיצוני של רוח חזקה מדי, מופנות הכפות כך ששטחן יתלכד עם כוון הרוח, כדי לשחרר אותן מעומס יתר.
3. הרוח משנה בדרך כלל לא רק את עוצמתה, אלא גם את כוונה. לכן רצוי לאפשר לרוטור כפות הטחנה להסתובב סביב ציר אנכי. מידת חופש זו מאפשרת לרוטור 'לחפש' את כוון הרוח ולהתייצב בכיוון זה.



המאמר הופיע בספר **המדבר** | עבר. הווה. עתיד. בעריכת עזרא זוהר הוצאת רשפים תשל"ז



דגם מנהרה של טורבינה עם שרוול שפותח בפקולטה לאוירונאוטיקה בשנות ה-60, על ידי מסטרנטים בהנחיית אבא

הצורה המוכרת של טחנות הרוח ההולנדיות מגלמת את הסתגלות התכנון למגבלות הרוח שהוזכרו לעיל: רוטור בעל ארבע כפות, הנישא בראש מבנה חזק בצורת מגדל; מישור הרוטור מסובב סביב ציר אנכי על ידי משוב אחורי המכוון עצמו עם הרוח; כפות הרוטור ניתנות להכוונה לזווית התקפה אופטימלית כלפי הרוח; תנועת סיבוב הרוטור מועברת באמצעות תמסורת מכנית, המעלה את המהירות הזוויתית לערך המתאים לפעולה יעילה של גנרטור חשמלי.

בראשית המאה הנוכחית נראה היה שתקופת ניצול אנרגיית הרוח עברה את שיאה. במקומות שונים נותרו טחנות רוח משותקות כמזכרת העבר, והן משמשות נושא נוסטלגי לצילומי תיירים.

התחדשות העניין באנרגיית הרוח

בשנות הארבעים התחדשה ההתעניינות בפיתוח ניצול אנרגיית הרוח. שתי סיבות חברו יחד ועוררו את ההתעניינות המחודשת במקור אנרגיה קלסי זה.

ערב מלחמת העולם השנייה הגיעו מדעי האוירונאוטיקה והשיטות ההנדסיות הקשורות בתעשיית המטוסים לרמה מתקדמת. הידע שהצטבר בתכנון משטחים אוירודינמיים יעילים, כגון כנף או גוף המטוס, אפשר פיתוח נוסף בניצול אנרגיית הרוח. שיטות התעשייה האוירית אפשרו לא רק תכנון של כפות יעילות, המסוגלות להפיק אחוז גבוה מאנרגיית הרוח, אלא גם הקמת מבנים רבי מידות קלים יחסית ובעלי חוזק מבני רב. בשיטות המבנה הנהוגות בתעשייה האוירית ניתן היה להעלות בהרבה את גודל טחנת הרוח ולהגיע לידי שיפור נוסף ביעילותה.

מלחמת העולם השנייה שיבשה את נתיבי אספקת הדלק למעצמות הלוחמות. היתה זו כעין מהדורה ראשונה למשבר האנרגיה הפוקד את העולם לאחרונה.

בכורח נסיבות המלחמה והקשיים בהבטחת אספקה של אנרגיה ממקורות מקובלים, התחדש העניין בניצול אנרגית הרוח כמקור אנרגיה משלים. השיטות ההנדסיות החדישות נתנו יסוד לתקווה שניתן להחיות את הנושא ולהגיע להפקת אנרגיה מרוח על בסיס רווחי.

באותה תקופה עסקו בארה"ב בפרויקט מחקר גדול לניצול אנרגית הרוח. גולת הכותרת של פרויקט זה היתה הקמת טחנת רוח ניסיונית גדולה על ראש גבעה במדינת וורמונט, בעלת הספק של 1250 קילוואט. לאחר פעולה תקינה במשך שלושה שבועות נשברה אחת משתי כפות הרוטור, וכך הגיע פרויקט זה לסוף דרכו.

התעוררות העניין בניצול אנרגית הרוח בשנות הארבעים פקדה גם את ברה"מ, אשר בה מרוחקים מקומות ישוב רבים ממרכזי אספקת אנרגיה. עבור מקומות נידחים כאלה פיתחו הרוסים יחידות קטנות, בעלות הספק של 200 קילוואט. הפעילות המחודשת בפיתוח טחנות רוח לא פסחה גם על דנמרק, הולנד, צרפת ובריטניה, כולן ארצות בעלות מסורת ארוכה בניצול מקור אנרגיה זה.

המסקנה שהסתמנה כתוצאה מהפעילות המחודשת לא היתה נלהבת. נראה היה שעל אף החידושים הטכנולוגיים, הפקת אנרגית הרוח עדיין יקרה מדי, וזאת בשל המגבלות הטבועות במקור אנרגיה זה. לא נראה היה סביר שהרוח תוכל להתחרות עם מקורות אנרגיה פוסיליים, אשר היו זולים ואספקתם שוב נראתה מובטחת. בשנות החמישים הלכה ההתעניינות בניצול אנרגית הרוח ודעכה.

רעיון לניצול הרוח באזורים בעלי כוון רוח קבוע

באותה תקופה עלה בדעתי רעיון, הפותח פתח לשיפור משמעותי בכלכליות ניצול אנרגית הרוח בתנאים טופוגרפיים מסוימים. באזור הערבה מכוונת הרוח על ידי הרי אדום ממזרח ורמת הנגב ממערב, ולכן מראה שושנת הרוחות כוון מועדף בולט: רוב הזמן נושבת הרוח בערבה מהצפון, עם סטיות קלות מזרחה או מערבה.

במקומות עם רוח בעלת אפיון חדי־כוני כזה אפשר לוותר על הצורה הקלסית של רוטור החופשי להסתובב סביב ציר אנכי ו'לחפש' את כוון הרוח. אפשר למקם את הרוטור בתוך מבנה סטטי בעל צורת מעטפת עם סימטריה צירית, אשר הציר שלה מתלכד עם כוון הרוח השכיח ביותר. הרוח נקלטת לתוך חתך הכניסה הרחב של המעטפת. זרם האויר מואץ על ידי התכנסות אל חתך מיצר המעטפת, אשר בו נמצא רוטור הכפות. לאחר מסירת האנרגיה לרוטור, מואט זרם האויר בקטע האחורי של המעטפת, עד שהוא נפלט לתוך זרם הרוח בלחץ המשווה ללחץ החיצון.

על ידי תכנון זה אפשר להשיג מספר יתרונות בהשוואה לתכנון המקובל: ציר הרוטור קבוע ואין צורך במנגנון המאפשר התכוונות מישור הרוטור בניצב לרוח. המבנה הסטטי של המערכת מאפשר תפיסת שטח חתך רוח גדול והעברת זרם האויר אל פני רוטור בעל ממדים קטנים. היות וזרם האויר מואץ בדרכו אל מיצר המעטפת, ניתן להגדיל את מהירות הסיבוב המתוכננת של הרוטור. זה גורם לפישוט מערכת התמסורת לציר הגנרטור ולהוזלתה. המעטפת מדריכה את הרוח ומכוונת את זרם האויר לפי ציר הרוטור. לכן לא רגישה הטחנה לסטיות בגבולות סבירים בכוון הרוח.

היום, עם העליה התלולה במחירי הדלק, יש התפתחות וענין בנושא זה. בארצות הברית מנסה אחת החברות החשובות של התעשייה האוירית לפתח את אוירוגנרטור המעטפת. גם בארץ עוסקים בפיתוח נושא זה.

כאשר שמעתי על החלטת מועצת פרסי רוטשילד לישראל להעניק לי את הכבוד הגדול ולזכותני בפרס רוטשילד לשנת תשכ"ה, עלי להודות שהופתעתי והתקשיתי לרדת לסוף דעתם של השופטים. שהרי אם התחלתי דרכי המדעית בפיזיקה ומתמטיקה ושאבתי תורה מפי רבים וגדולים כפרופסורים רקח, פקטה ולויצקי ז"ל באוניברסיטה העברית, לא המשכתי בדרך הישר ובמרוצת הימים יצאתי לתרבות רעה כביכול. תמיד השתדלתי לעסוק בשטח המדעי אשר היה נראה לי בעל משמעות מעשית לפיתוח הארץ, וכך התגלגלתי מפיזיקה לאוירונאוטיקה, עסקתי בפיתוח וְקבות רוח, בניצול אנרגית הרוח בערבה ובהתפלת מי הים.

דומני שכוונת אנשי המועצה הובררה לי כאשר נודע לי מי הם חברי חתני הפרס לשנה זו. בחירתם מצביעה על רצונם של השופטים להדגיש חשיבות יישום המדע ותרגומו לשפת המעשה. שטח פעולתו של פרופ' טדסקי, העוסק בעקרונות החקיקה, מהוה ענף שימושי חשוב במדעי הרוח. ואילו מורי ורבי פרופ' פקריס מקדיש מאמציו מאז קום המדינה בביסוס מרכז מחקר למתמטיקה שימושית אשר כבר יצאו לו מוניטין בעולם.

במצבנו המיוחד של עם הנאבק לשקם הריסותיו ולחזור לתחיה בארצו אשר לא נתברכה בשפע אוצרות טבע, הכול מודים שחובה עלינו לפתח כמיטב יכולתנו את היתרון הטבעי שבמסורת הלימוד, העיון והמחקר אשר ליוותה אותנו בגולה. אך בכדי להפוך יתרון זה למנוף אדיר לקידום המדינה, לא די בפיתוח המדע לשמו, עלינו ללמוד בתחום זה מניסיונן של חברות השפע, אשר הגיעו להישגיהן על ידי רתימת המחקר המדעי לפתרון בעיות המעשה. ובכדי להבטיח שפְרות הטכנולוגיה המודרנית ישרתו את האדם בחברה המושתתת על עקרונות המוסר שבישרנו לעמים בעבר, מוטב שלא נזניח את מדעי החברה ונכלכל דרכנו לאורם.

בשמי ובשם חברי חתני הפרס הנני מביע רגשי תודה והוקרה לבני משפחת רוטשילד, אשר קשרה את שמה במפעלים כה רבים וחיוניים בארץ מראשית תחייתנו הלאומית. מי יתן ונצליח להפוך את השיטה המדעית למסד איתן בבנין הארץ, ובכך נצדיק את האמון שהבעתם בנו.

מתוך דברים שנשא במעמד קבלת פרס רוטשילד שהוענק לו על הישגיו המדעיים בשנת תשכ"ה.

שיטת כוגן־רוז להתפלת מי ים מבוא

בתהליך התפלה קלסי מוכנסים מים מלוחים חמים לתא אידוי. האדים מכילים מים נקיים בלבד והמלח נותר מאחור. את האדים 'מפגשים' עם הדפנות החיצוניים של צינורות נחושת, בתוכם זורמים מים קרים. ה'מפגש' בין האדים לצינורות הקרים גורם להתעבות האדים. טיפות המים שנוצרות מהעיבוי, מטפטפות לתוך תעלות איסוף של מים מותפלים. מי הקירור המוזרמים בתוך צינורות הנחושת הם מי ים מלוחים. הם יוצאים כשהם חמים בזכות החום הכמוס של האדים שהתעבו על הצינורות. אותם מים מלוחים ששימשו כמי קירור ויצאו חמים, עוברים חימום משלים על ידי שריפת דלק, ומזרמים שוב לתא האידוי ם הפעם כמים המתאיידים.

חסרונות השיטה הקלסית :

- צינורות הנחושת יקרים ומהווים חלק ניכר מעלות המתקן.
- מעבר החום בין האדים למים הקרים מוגבל על ידי רמת המוליכות התרמית של דופן הצינורות, ולכן נדרש דלק רב לצורך החימום המשלים.
- ההתנגדות למעבר החום מחריפה עוד יותר אם שוקעת אבנית על הדפנות הפנימיים של הצינורות.

מתוך מכתבים ארוכים שנכתבו לסבא עמנואל ולסבתא אלישבע, בהם תיאר אבא את התקדמות הפיתוח של מתקן ההתפלה.

שלום לכם אבא ואמא,

חיפה
3.10.64

אני עסוק בעיקר בארגון העבודה סביב נושא ההתפלה. נפגשתי עם מספר אנשים בממשלה והגשתי הצעה שהממשלה תממן את המחקר שלי, ללא עזרה מן החוץ. בשלב זה ביקשתי תקציב של 200.000 ל"י והדבר נמצא בדיון. בינתיים ערכתי תוכניות למתקן ניסיוני ועובדים בשבילי ארבעה אנשים בנושא זה. יש לערוך המון מדידות ושלב הניסוי אשר בו התחלתי ימשך לפחות שנה. במשך שנה זו אהיה שוב חופשי לגמרי ממתן הרצאות. מפעילים עלי לחץ חזק שאקח חלק פעיל בניהול הטכניון. עד כאן דחיתי דרישות אלה, ואני מתכוון לעמוד בסירובי גם להבא.

חיפה
13.4.65

הניסיונות מתבצעים בקצב משביע רצון, אני משיג את אותם האפקטים שציפיתי להם, ואני מכניס בהדרגה את השינויים אשר יגדילו את יעילות התהליך. יש התעניינות גוברת בנושא, ואפשר להשיג מימון מממשלת ארצות הברית. אני מתכוון בכל זאת לבצע בינתיים את העבודה במימון פנימי של הממשלה שלנו, עד שאגיע לשלבים מתקדמים יותר.

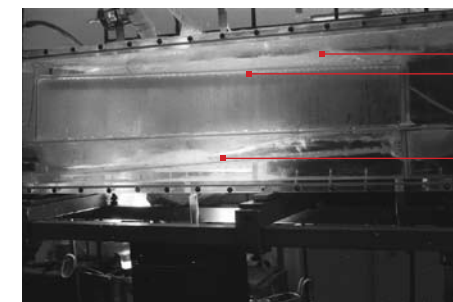
עיבוי ישיר על המים

הרעיון של אבא היה לזוותר על צינורות הנחושת ולבצע עיבוי ישיר של האדים על פני מים קרים ללא תיווך צנרת. כמובן שהמים הקרים הפעם הם מים מתוקים, והמים שנוצרים מהעיבוי של האדים מצטרפים אליהם - כלומר התפלה בעיבוי ישיר. בצורה זו אין צורך בצנרת הנחושת היקרה ואין הפסד אנרגיה בגלל ההתנגדות התרמית של הנחושת.

זה התחיל כמערך ניסוי בקנה מידה קטן בפקולטה לאוירונאוטיקה. בתוך מכל סגור, הונחו זו לצד זו שתי תעלות. התעלות היו פתוחות כלפי מעלה. באחת הזרמו מים מלוחים חמים, ובשניה מים מתוקים קרים. אדים שיצאו מהמים המלוחים מילאו את חלל המכל. המים המתוקים שזרמו בתעלה הסמוכה היו המשטח הקר היחיד בסביבה ולכן האדים התעבו עליהם.

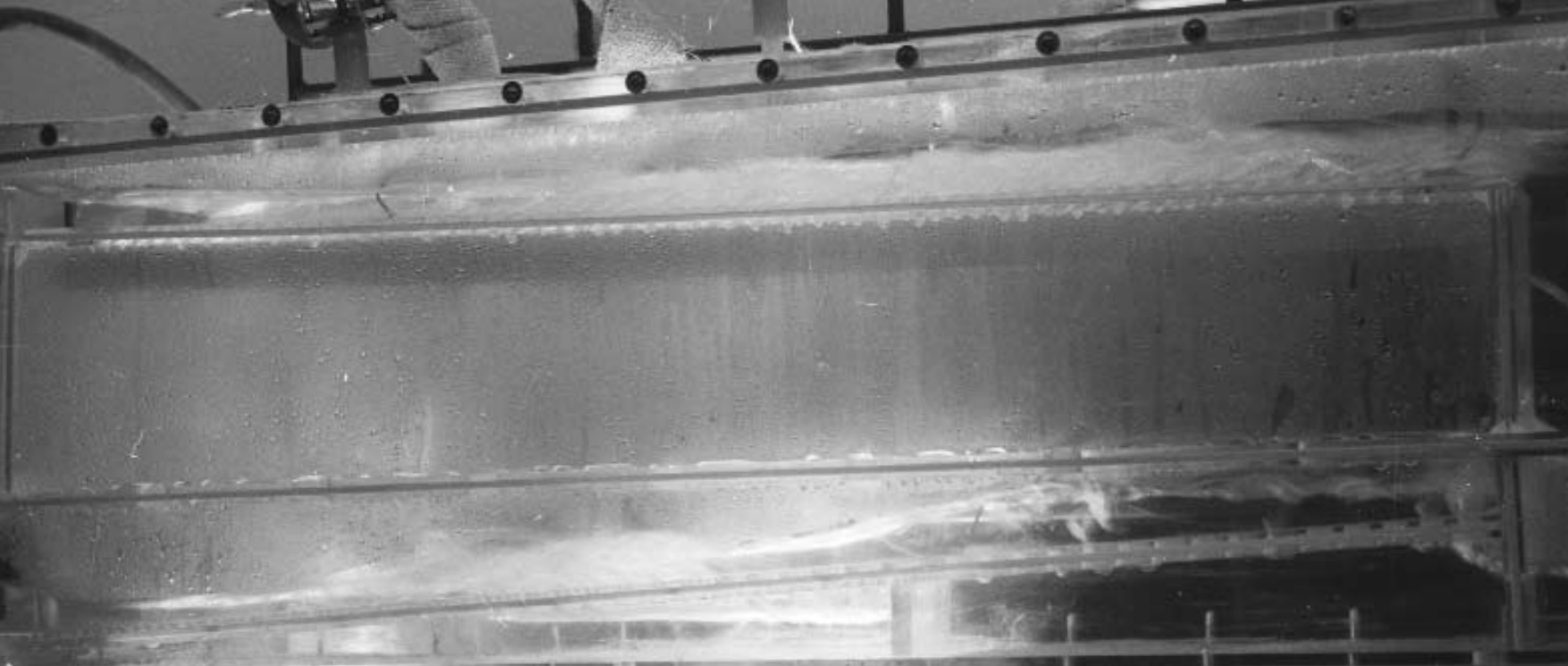
הפרעת האויר לעיבוי

עד מהרה התברר שהאויר שנמצא במכל מפריע לזרימה השוטפת של האדים מהתעלה החמה לתעלה הקרה. ריקון האויר שבמכל נתן יתרון כפול: פחות הפרעה לתהליך העיבוי, וחיסכון באנרגיה כתוצאה מהורדת טמפרטורת הרתיחה של המים המלוחים. בהמשך התברר ששרידי האויר שנשארו במכל נסחפו עם זרם האדים והגיעו לפני המים הקרים. האדים נבלעו במים והאויר נשאר מעליהם. כך יצא ששרידי האויר הלכו והצטברו ויצרו בכל זאת שכבת אויר עבה שהפריעה למגע הישיר של האדים עם המים.



פריצת האדים דרך המים הקרים שעל הרשת הרשת

רתיחת המים החמים



עיבוי ישיר בתוך המים

כאן המציא אבא את פריצת הדרך הבאה:

הזרמת האדים דרך המים הקרים במקום **מעליהם**. הוא עשה זאת בצורה נועזת על ידי הזרמת המים הקרים על גבי רשת(!) כשבחלל שמתחתיה מוזרמים המים החמים. לחץ האדים של המים החמים שבחלל התחתון גדול מזה של המים הקרים שעל הרשת, ולכן המים הקרים לא נטפו דרך החורים של הרשת כלפי מטה, אלא להיפך. האדים מלמטה פרצו דרך החורים ובעבעו דרך המים הקרים.

במתקן השקוף שנבנה גם הוא בפקולטה לאוירונאוטיקה ניתן היה לראות איך הבועות פורצות דרך החורים ברצפת המים הקרים ואיך הן הולכות ומצטמקות, בגלל העיבוי, תוך כדי ציפתן כלפי מעלה.

אחרי עליה של כמה סנטימטרים נשארה מכל בועה גדולה, בועית קטנה שכבר לא השתנתה יותר עד שנפלטה אל מחוץ למים. בבועית הקטנה נמצא שרידי האויר. כך נוצר שוב יתרון כפול: שטח פנים גדול מאוד - כלל שטח הפנים של הבועות שבתוך המים - שימש את תהליך העיבוי, ושרידי האויר יצאו מן המים ולכן לא יכלו להפריע.



חיפה

26.7.66

יש לי הרגשה שאני נלחם עם הזמן בעבודת המחקר שלי. בטכניון לוחצים עלי זו השנה השנייה לקבל על עצמי תפקיד מרכזי בהנהלה, ועד עכשיו הצלחתי להחלץ מתפקידי כזה, אבל ספק אם אוכל לסרב בעוד שנה, אלא אם כן אצליח עד אז להגיע לתוצאות משכנעות בעבודת ההתפלה.

חיפה

9.10.66

היה עלי לענות לעורך דין פטנטים מניו יורק על תגובה ראשונה של משרד הפטנטים לאחת הבקשות שלי, עלי להדריך שלושה מהנדסים בעבודת מחקר ההתפלה, להכין הרצאות לתחילת שנת הלימודים, לשבת במספר ועדות בענייני הטכניון, ומדי פעם לקרוא גם את המאמרים המעניינים אותי.

חיפה

12.4.67

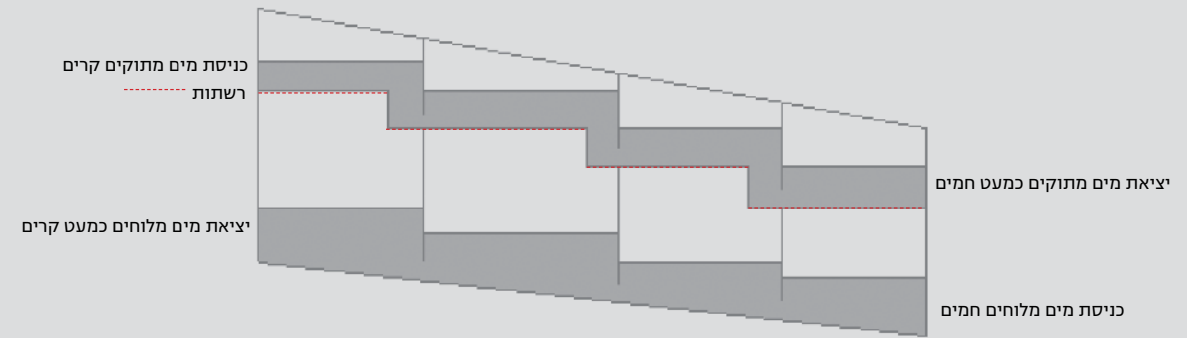
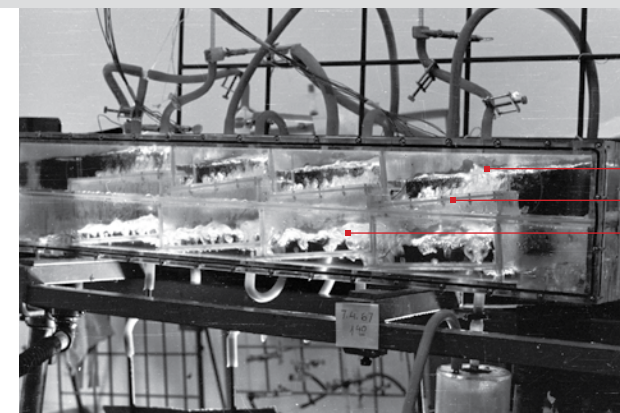
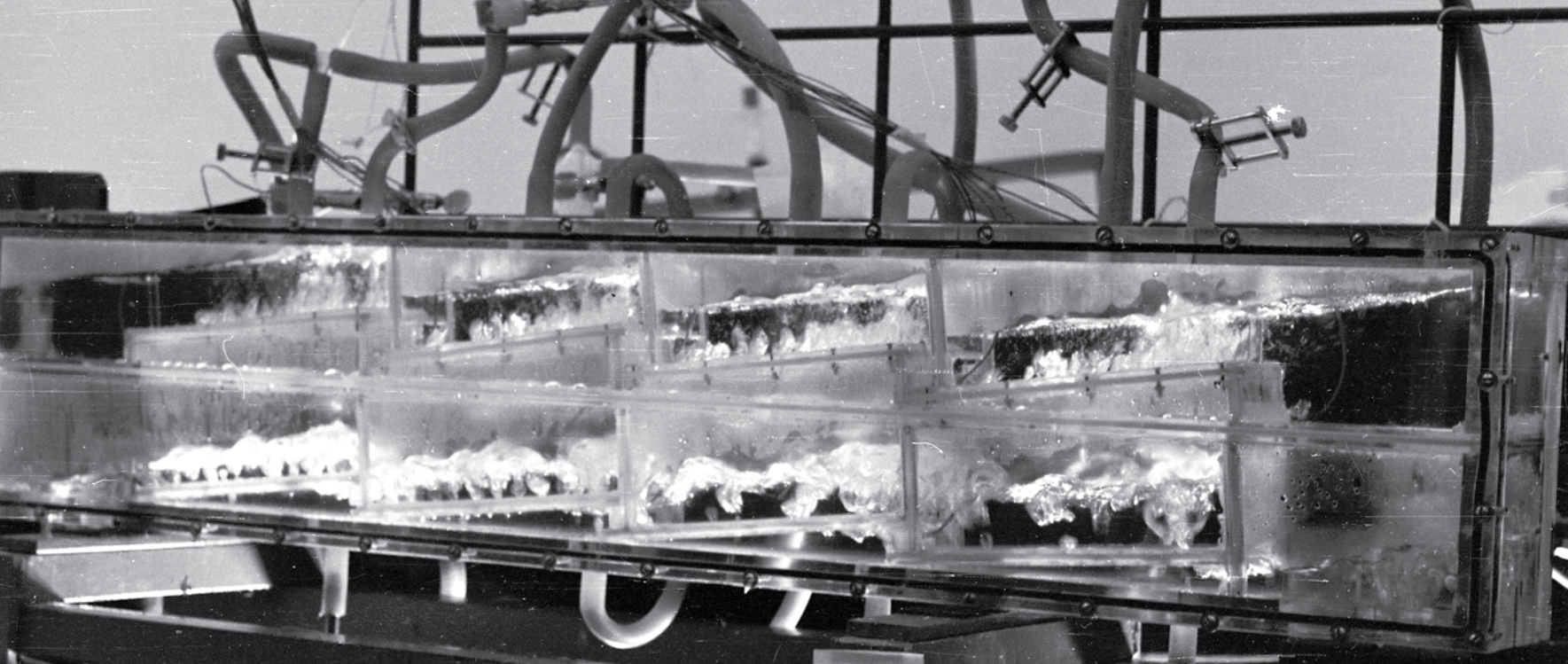
בעבודת המחקר שלי בקשר להתפלה ההתקדמות היתה אטית מדי, אבל עכשיו יצאתי למרחב ויש לי תוצאות מעודדות ביותר. הצלחתי לקבל תוצאות מדויקות המאפיינות את השיפור והמתארות תהליך בעל חשיבות מפתח.

<<

זרימות בכוונים מנוגדים

יציאת האדים גורמת למים החמים להתקרר (סילוק החום הכמוס). מאידך התעבות האדים לתוך המים הקרים גורמת להם להתחמם (הוספת החום הכמוס). כשהטמפרטורות של שני הזרמים תשתוו יפסק תהליך האידיוי והעיבוי.

במחליפי חום בתעשייה הכימית, מוכרת שיטה המאפשרת ניצול טוב יותר של הפרש הטמפרטורות ההתחלתי. בשיטה זו המכונה COUNTER CURRENT מוזרמים מים חמים בצינורות בכוון אחד, וסביבם מחוץ לצינורות, מים קרים המוזרמים בכוון המנוגד. על פי שיטה זו המים המלוחים שיוכנסו חמים בתחילת דרכם, יפגשו מולם את המים המתוקים (שהיו קרים) כשהם כבר חמים בסוף דרכם. באותו אופן כשהמים המלוחים, שהיו חמים בהתחלה, יגיעו לסוף דרכם כשהם כבר קרים, יפגשו מולם את המים המתוקים כשהם קרים בתחילת דרכם. בצורה זו מתאפשר לקרר את המים החמים כמעט עד לטמפרטורה של המים הקרים ולחמם את המים הקרים כמעט עד לטמפרטורה של המים החמים, במקום להביא כל אחד מהזרמים רק עד אמצע הדרך ובכך נחסכת אנרגיה.



חלוקת המסלול לקטעים

היות והמים לא זרמו כעת בתוך צינורות כמו ב COUNTER CURRENT רגיל, עלתה השאלה כיצד מבטיחים שהאדים היוצאים מהמים המלוחים בנקודה בה הם הכי חמים, יתעבו דווקא לתוך המים המתוקים שמעליהם (בטמפרטורה נמוכה רק במקצת), ולא יעדיפו להתעבות על הזרם המלוח בהמשך הדרך שם פני השטח הרבה יותר קרים.

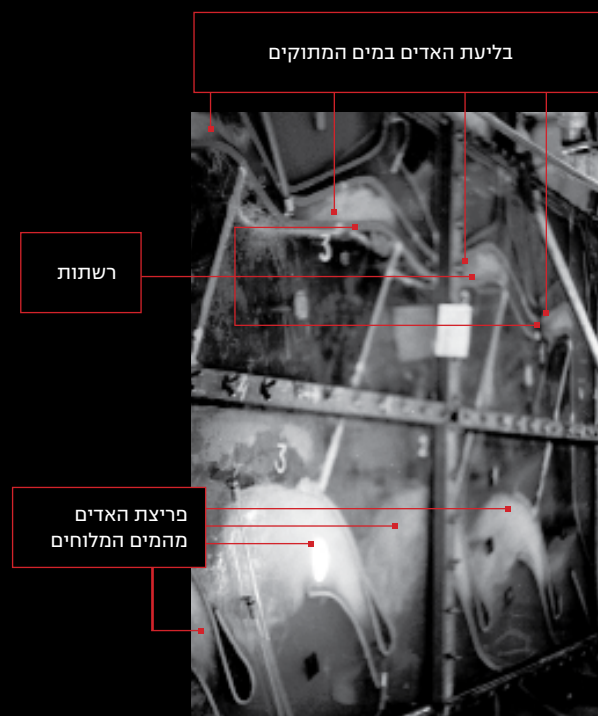
לשם כך הוכנסו מחיצות שלא אפשרו מעבר אדים לאורך המסלול, אבל אפשרו את מעבר המים. בין כל שתי מחיצות נוצר תא ובו חלל אדים תחתון מעל המים המלוחים וחלל אדים עליון מעל המים המתוקים. כל חלל כזה הוא שווה טמפרטורה לכל אורכו, ואילו במעבר משלב לשלב יש שינוי: הטמפרטורה של השלב הראשון סמוך לכניסת המים המתוקים קרה יותר מהטמפרטורה בשלב הבא במורד הזרם, וכן הלאה.

החלל התחתון בכל אחד מהשלבים נמצא תמיד בטמפרטורה גבוהה במקצת מזו של החלל העליון באותו שלב, כך שהפרש הלחץ דוחף את האדים לתוך המים המתוקים שעל הרשת. המתקן נבנה בשיפוע כיון שעם ההתקדמות במעלה הזרם החם הטמפרטורות הולכות ויורדות ואתן יורד גם לחץ האדים. לכן היה צורך לאפשר הפרש גובה בין פני המים בכל מעבר מתא לתא כדי לאזן את הפרש הלחץ.

עיבוי בוועות האדים במים הקרים
רשתות
רתיחת המים החמים

עורך דין הפטנטים הסביר לי שבכדי לקבוע שהמצאות שלי הובאו לארה"ב בתאריך מסוים, יש צורך ששני אנשים שנמצאים בארה"ב יחתמו על מסמך 'נקרא והובן על ידי' בציון תאריך ומקום. החותם יכול להיות גם קרוב משפחה ואין צורך לחתום בפני נוטריון. אבקשך אבא, שתחתום על נוסח כזה ששלחתי לך לאחרונה וכן על התמונה המצורפת.

אתמול הפגישו אותי עם יהודי עשיר מארה"ב האומר שהוא מוכן לתרום סך 100,000 דולר לפיתוח תהליך התפלה מוצלח. הסברתי לו את התהליך שלי, ולכן אני מעוניין להבטיח הגנת זכויות ללא השהיה.



D | דגם של 4 דרגות פריצה עוקבות



C | בשלב חם יותר של המסלול דרגת הפריצה נותנת טיפוס גבוה יותר



B | עיצוב אחר של יחידת פריצה



A | דגם של יחידת פריצה

עיצוב המסלולים

אבא הבין שזרימה מהירה של המים המלוחים במעבר שמתחת למחיצה בין שני תאים תהיה מלווה בירידת לחץ פתאומית שגורמת לרתיחה בנקודת המעבר. הוא עיצב את המחיצות והמעברים האלה ביד אמן, בסגנון של נחיר מנוע רקטי. כך, הזרימה האיצה לקראת הנקודה הצרה ביותר, בה הלחץ מינימלי והמים הופכים בחלקם לאדים, תוך הגדלת נפח גדולה מאוד שדחפה את המים המקציפים במעלה המעבר לשלב הבא במסלול. כך נחסך הצורך במשאבות רבות בין השלבים.

עד לשלב זה היו הזרימות אטיות. בחשיבה קדימה על מתקן תעשייתי היה צורך לאפשר זרימות מהירות בהרבה. זרימה חזקה שתנסה לעבור במעברים הצרים שבין תא לתא תיתקל בהתנגדות. כדי להתגבר על ההתנגדות יהיה צורך להכניס בין התאים משאבות שתדחופנה את המים. וכאן באה פריצת דרך נוספת.



מחליף חום ניסיוני

חיפה

17.5.72

אני עדיין נתקל בקשיים מסוימים בהפעלת המתקן. לחלק מהבעיות נמצא פתרון טוב, אבל עדיין יש בעיות ונחוץ עוד לעבוד על שיפור פרטים מסוימים. יש התעניינות רבה בעבודה שלי גם בארץ וגם בחו"ל, ומחכים רק שאוכיח באופן משכנע שהתהליך אמנם מסוגל לבצע כל מה שמצפים ממנו. היו לי ביקורים של נציגים של חברות גדולות בארה"ב וביפן. ברגע שהמתקן יתחיל בפעולה טובה הם יהיו מוכנים להציע הצעות בדבר הסכמים. ובכן, נחוץ עוד קצת סבלנות.

חיפה

22.12.71

הנחת נכון, אבא, שאני מתמסר ברוב זמני לעבודות סיום המתקן להמתקת מים. אני עובד יחד עם קבוצת ששה פועלים, מדריך אותם, דואג לאספקת חומרים וכלי עבודה, עושה ניסויים אתם ולאט לאט מתקרב לגמר העבודה. ודאי יעברו עוד כששה שבועות עד שנוכל להתחיל בניסויי הפעלה. באחת התמונות המצורפות רואים את מכל המאייד-מעבה EVAPORATOR - CONDENSER המכיל עשרים וחמש דרגות זיקוק. אורכו של המכל שבעה עשר מטר. בנינו אותו משלושה חלקים, אשר הורמו למקום המיועד להם בגובה רב וחוברו שם יחדיו על ידי ריתוך. זו היתה פעולה מורכבת ונשמתי לרווחה כאשר עברנו שלב זה ללא תקלות.

חימום המים המלוחים

השאלה הבאה שהתבקשה היא כיצד ניתן לצמצם למינימום את האנרגיה הנדרשת לחימום מי הים לפני כניסתם למתקן. במקרים כאלה מנצלים בדרך כלל את חום המים המתוקים שיוצאים חמים מהתהליך, כדי לחמם את המים שמגיעים מהים קרים, במקום לתת לחום הזה להתקרר ללא תועלת.

אבא בחן דרכים יצירתיות לביצוע החלפת החום בצורה יעילה. הוא בדק הזרמת כדוריות זכוכית דרך המים המתוקים החמים, וכשהן ספגו את החום - הזרמתן דרך מי הים הקרים. אחרי שפלטו את החום למים הקרים - נשטפו מהמלח והוכנסו שוב למים החמים, וחוזר חלילה. כך התקבל שטח פנים רב למעבר החום. ניסויים דומים בוצעו עם גרגרי פלסטיק.

בסופו של דבר פותח מחליף חום מבוסס צינורות הדומה למחליפי החום הקלסיים, אבל במקום צינורות שבתוכם מים וסביבם אדים כמו בתהליך ההתפלה הקלסי - צינורות שבתוכם מים וגם סביבם מים. כך יוצא שהצינורות אינם צריכים לשאת את המשקל והלחץ של המים בתוכם כיון שהם תמוכים על ידי המים שסביבם. באופן זה ניתן היה להשתמש בצינורות דקיקים מחומר פלסטי, במקום בצינורות נחושת. צינורות הפלסטיק קיבלו את צורתם העגולה רק כשהמים הוזרמו בתוכם. צינורות אלה יכולים להיות זולים ביותר, ובגלל שהם דקים במיוחד ההתנגדות שלהם למעבר החום נמוכה מאוד.

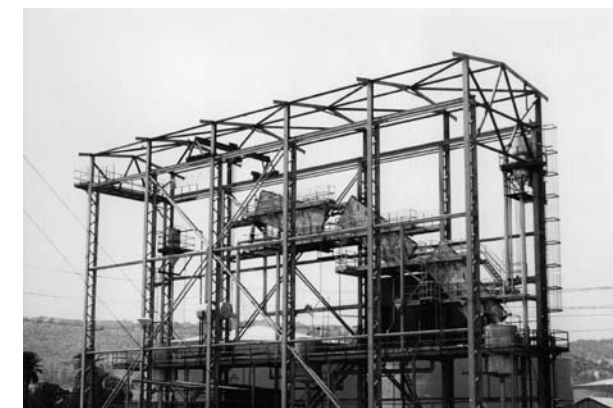


המתקן בחברת החשמל

לאחר הצלחת המתקן הניסויי, שהיוותה פריצת דרך בתחום התפלת המים, נבנה מתקן חצי חרושתי בחצר תחנת הכח בחיפה. הפרויקט מומן בשווה על ידי שלושה: ממשלת ישראל, הטכניון והנדבן דוד רוז. בספר יובל שיצא לכבוד דוד רוז, תיאר אבא את התפתחות המתקן בחברת החשמל:

המתקן כולל מבנה פלדה עם מנוף 5 טון מעל, שמאפשר העמדת תצורות שונות של שלבי איוד-עיבוי, מאגרי מים, תמלחת ומתקן סילוק אויר. מי ים להתפלה ולקירור, קיטור וחשמל מתקבלים מתחנת הכח.

הפאזה הראשונה של המתקן החצי חרושתי כללה מערכת של 17 שלבים של איוד ועיבוי במגע ישיר, שנמצאו בתוך שלוש יחידות עוקבות דמויות קופסה.



הפאזה הראשונה של המתקן החצי חרושתי



חוטי עזר להשחלת צינורות הפלסטיק

חיפה

23.3.74

אספר לכם מעט על הנעשה אצלי. בניית המתקן להמתקן מאתיים מטר מעוקב מים ליום, נמצאת בעיצומה. כמחצית העבודה מסרתי בקבלנות לחברות הנדסיות בסביבות חיפה, המייצרות עבורי מכלי פלדה, מחליפי חום וכו'. המחצית השנייה, הכוללת עבודות ספציפיות כמו ריתוך צינורות והרכבת ציוד במקום, מבוצעת בשטח המתקן על ידי קבוצת הפועלים שאתי. אני נעזר במידת הצורך במהנדסים לתכנון הציוד, ובפקידי מחלקות הטכניון לקניות ולבינוי בכל הנוגע להוצאת מכרזים ולביצוע הזמנות. עומס העבודה רב, אך רואים התקדמות מתמדת.

בזמן האחרון פיתחתי כמה רעיונות לניצול אנרגיית השמש במקום קיטור, כמקור חום במתקן ההמתקה. אשתדל לבדוק אותם במעבדה על ידי ניסויים. יש לי רעיונות נוספים לשיפור תהליך הפקת האשלג מים המלח, אך לא אתחיל כנראה בניסויים בתחום זה לפני שאביא לסיום מוצלח את תהליך ההמתקה.

חיפה

מוצאי חג השבועות 27.5.74

בניית המתקן מתקדמת. כעת מגיעים לשטח חלקים שונים שהזמנתי אצל קבלנים, ורואים יותר ויותר את הצורה הסופית של המפעל. אני מקווה שאצליח להפעיל אותו עד סוף השנה.

מי ים נכנסו לשלב האיוד הראשון ב 93°C ועלו כנגד הכובד בשלבים עוקבים של איוד בהקצפה. הם עזבו את השלב האחרון ב 52°C . אדים שהשתחררו בתהליך האיוד התעבו במגע ישיר עם זרימה נגדית של מי ים קרים שזרמו על רשתות מעל. הטמפרטורה של הזרימה המעבה עלתה מ 47°C ל 88°C עקב חום העיבוי.

במערכת זו ניתן היה לבחון אספקטים הידרודינמיים שונים של המאייד-מעבה הרב שלבי, כגון יכולת ההתרוממות של זרימת התמלחת המקציפה, יציבות הידרודינמית של המערכת, והתנהגותה בהתנעה. התכונות התרמודינמיות של המערכת נלמדו, ונמצאה ההשפעה של פרמטרים שונים, כגון גאומטריית השלבים, הספיקות של שתי הזרימות וטמפרטורות הכניסה שלהן, על הפרשי הטמפרטורות בין המים המתאיידים למים המעבים בכל שלב.

הפאזה הראשונה של המתקן החצי חרושתי עדיין לא היתה מערכת התפלה, מאחר שהזרימה המעבה היתה של מי ים. כדי להפוך אותה למערכת התפלה אמיתית, נדרש להחליף את זרימת מי הים המעבים בזרימת מים מתוקים וצריך היה לשלב במערכת מחליף חום שיעביר את החום מזרם המים המעבים המתוקים לזרם מי הים המתאיידים. זה היה השינוי המשמעותי בפאזה השנייה של המתקן החצי חרושתי שנבנה והופעל בשנים 1971-1973. למטרה זו פותח מחליף החום מצינורות פלסטיים דקי דופן. מחליף החום כלל 252 צינורות טדלר בקוטר "0.75, בעובי דופן של 5 מאיות המ"מ ובאורך של 30 מטר.

בעבודה שלי יש התפתחות מעניינת. קבוצת המהנדסים בתל אביב, העוסקים בתכנון מפורט של המתקן התעשיתי מתקדמים יפה, אך יש צורך להכניס מדי פעם שינויים ניכרים בתכנון, ועכשיו כבר ברור שאצטרך להתעכב כאן כמה חודשים נוספים. אכתוב על כך לאנשי SERI בדנבר. אשלח להם רשימות של ציוד מעבדתי שיוכלו לרכוש בתקופת הביניים, ואני מקווה שהם יסכימו לדחיית ההתחלה של עבודתי אצלם.

חיפה

קיץ 78'

השבוע ביקר בארץ מנהל המחקר של SERI - SOLAR ENERGY RESEARCH. הוא סיפר לי שיש נכונות מצדם להסכים לתנאים שלי לבוא אליהם לשבתון רק בראשית השנה האזרחית הבאה. אני מתקדם עכשיו יפה בהעברת הידע למהנדסים המתכננים מתקן התפלת מים בקנה מידה תעשיתי.

עבודת הפיתוח מתקדמת בקצב הצב הרגיל, אבל איני יכול להתלונן. אם אצליח לשזור צעדי צב אחדים נוספים, יחתם הסכם להקמת מתקן לייצור מים בדרום מדינת ישראל.

כל טוב,

אריה מ

המאייד־מעבה הרב שלבי תוכנן מחדש כדי לשפר את ביצועי השלבים. כל השלבים נכללו ביחידה אחת ארוכה. החסכון של מעברי הזרימה בין היחידות הקטין את איבודי הלחץ של הזרימות ואִפשר לתכנן את השלבים להפרש טמפרטורה קטן של 1.2°C בין המים המתאדים למים המעבים בכל שלב.

המאייד־מעבה של הפאזה השניה כלל 18 שלבי זיקוק. טמפרטורת התמלחת שנוכסת לשלב הראשון הוגבלה ל 70°C. ניסויים אחדים בוצעו עם טמפרטורת תמלחת מְרביית בכניסה של 80°C. מגבלה זו נקבעה, בפאזה השניה של התכנית, כדי למנוע את חשיפת הצינורות הפלסטיים לטמפרטורות גבוהות בשלב מוקדם זה של הפיתוח. הניסויים עד כה בוצעו בתא ברוחב 10 סנטימטרים וקצבי הזרימה התאימו לדרישה תעשיתית של 300 טון לשעה לכל מטר רוחב תא.

הפעלות מוצלחות של הפאזה השניה היו כבר בראשית 1973. בוצעו ניסויים רבים בנקודת העבודה ומחוצה לה. גובשו נהלים נכונים להתנעת התהליך והוכנסו אמצעי בטחון למניעת נזק לצינורות הפלסטיק עקב מאמץ יתר.

סדרות הניסוי של הפאזה השניה אישרו את ציפיותינו בנוגע לכלכליות הקיטור בכל שלב (מדובר בקיטור שהובא מתחנת הכח כדי לספק את החום לתהליך), היציבות ההידרודינמית וטוהר מי התוצרת. הן הוכיחו את הֶתכנות של מערכת עם מאייד־מעבה במגע ישיר ומחליף חום של צינורות פלסטיק שמייצרת לכל ק"ג קיטור 0.28 ק"ג מים מותפלים בכל שלב. במתקן תעשיתי של 40 שלבים הפועל בין 95°C ל 40°C ניתן יהיה להגיע ליחס כלכליות של 11 (ק"ג מים מותפלים לק"ג קיטור לכל המתקן).

בפאזה השלישית של המתקן החצי חרושתי בוצעה קפיצה משמעותית לכוון קנה מידה חרושתי. רוחב התאים עלה מ 10 ס"מ ל 50 ס"מ, ועל ידי כך הוגדלה הספיקה פי חמשה.

העברת הזכויות לכור

בעקבות הבשלת הניסויים בפאזה השלישית של המתקן החצי חרושתי , נקנו הזכויות לשימוש בתהליך על ידי 'כור תעשיות בע"מ'. בינואר 77' הוכן, על ידי מומחים של כור, דו"ח הֶתכנות של הקמת מתקן בתפוקה של 4000 מ"ק ליממה ובו נבדקו שתי אפשרויות: מתקן עצמאי, ומתקן משולב עם תחנת כח ממנה הוא מקבל קיטור ומי ים. כפי שסוכם בדו"ח:

'מנקודת מבט של כדאיות למשק הלאומי נובעות המסקנות הבאות: הקמת מתקן חד תכליתי [עצמאי] כדאית כאשר המים מיועדים עבור העיר ימית ובתי צמיחה מבוקרים. הקמת מתקן משולב [עם תחנת כח] כדאית גם כאשר המים מיועדים למטעים, ומשקי גידולי שדה עם רמת יבולים גבוהה.'

בהמשך מתייחס הדו"ח לתוכנית עתידית של מעבר למתקנים בקנה מידה גדול פי עשר, שיאפשרו הורדת מחיר המים ואספקתם לאזורים נרחבים הרבה יותר.

בעקבות דו"ח הֶתכנות זה הוחלט לערוך בדיקת אימות על ידי הפעלת המתקן החצי חרושתי למשך שלושה שבועות רצופים, בתנאי הפעלה דומים ככל הניתן למתקן החרוшתי המתוכנן. המתקן הורץ ברציפות בין ה 6.6.77 ל 24.6.77 עם שתי הפסקות שבת, ובמהלך ההרצה נרשמו מאות קריאות ונאספו עשרות דפי נתונים. בהסתמך על התוצאות וניתוחן הוצאו מסקנות לגבי אמינות התהליך והציוד. בדו"ח של כור שסיכם את בדיקת האימות נאמר:

'אמינות התהליך הוכחה בסבירות גבוהה, והסתמנה בבירור יעילות האלמנטים החדשניים והמאפיינים אותו (כגון: עיבוי האדים במגע ישיר וספיגתם בתוך המים המתוקים, עלית המים המלוחים למעלה בעזרת פריצת האדים, ושחרור חלל האדים מגזים בלתי מתעבים). התהליך מייצב את עצמו תוך זמן קצר מהפעלתו וממשיך בפעילות רצופה ללא השגחה מיוחדת

	<div> <div><div>גולדן</div></div> <div></div> <div><div>25.3.79</div></div> </div>
---------------	---

קבלתי ידיעה מ'כור' שנציב המים הסכים להמשיך את תכנון המתקן להתפלה מעבר לשלב התכנון הכללי, לכן אצטרך להגיע ארצה בזמן הקרוב.

	<div> <div><div>דנבר</div></div> <div></div> <div><div>28.5.79</div></div> </div>
---------------	--

במשך החודש האחרון היה הנושא העיקרי בחדשות - משבר האנרגיה. לא מפסיקים להודיע על הפקעת מחירי דלק בתחנות, על טורי מכוניות ארוכים, על תחזית קשה לעונת התיירות הקיץ, כי אנשים חושבים פעמיים אם לנסוע מרחק העולה על טווח מכל דלק אחד. ישנה טינה כלפי הערבים ומאשימים אותם בסחטנות שפלה. בעיית האנרגיה חריפה במיוחד לאחר שהתקוות שתלו בכור הגרעיני לא התממשו כראוי. והרי החברה תלויה פה יותר מדי במכונית, במטוס, בתעשייה ובחקלאות הצורכת דלק ללא גבול.

	<div> <div><div>דנבר</div></div> <div></div> <div><div>8.8.79</div></div> </div>
---------------	---

לא נסעתי ארצה הקיץ מכוון שהעבודה על תכנון מתקן ההתפלה הוקפאה. נציב המים הפסיק את מימון העבודה, לפי המלצת הועדה שהקים להערכת כלכליות השיטה שלי. העבודה כאן מעניינת. בנית המעבדה תיקח הרבה זמן. גם כאן יש פקידים שאינם ממהרים. עד שיוקם הציוד יהיה לי זמן לקרוא ספרות מקצועית.

מכתבים שקבלנו מאבא בתקופת שבתון ב SERI קולורדו כשעסק בחקר ניצול אנרגיה תרמית של האוקינוס, תוך שהוא ממתין להחלטת נציב המים בענין הקמת מתקן התפלה חרושתי.

ובמינימום של ויסות. הציוד הוא פשוט, סטנדרטי ואמין. הצינורות הפלסטיים במחליף החום מהווים מקור יחיד לחששות בפני בעיות מכניות. אולם בדיקה של מצב הצינורות הקיים, המבנה הפנימי של מחליף החום והניסיון שהצטבר במשך הפעלתו, מאשרים כי תכנון נכון, אחזקה נאותה ושמירה על הפרשי לחצים בצינורות ימנעו תקלות בלתי צפויות. במקרה של תקלה מכנית כלשהי, הגורמת להפסקת התהליך או שיבושו, המערכת מוגנת מפני חדירת מים מלוחים לתוך מחזור המים המתוקים וזיהום מי התוצרת. מבחינה מכנית לא התגלתה סיבה לחשוש כי הגדלת ממדי הציוד והתאמתו לתנאי הספיקה של המתקן הגדול המתוכנן תפגע באמינותו'.

סמנכ"ל כור לנציב המים

במכתב לנציב המים מנחם קנטור מאוגוסט 77' צירף ישעיהו גביש סמנכ"ל כור את דו"ח ההפעלה שבוצעה במתקן בחיפה וכתב:

'לאחר פעולה של שלושה שבועות רצופים הגיעו כל מומחינו למסקנה כי המתקן הוכיח את עצמו וניתן על פיו לתכנן ולבנות יחידת התפלה בהספק של 4,000 קוב מים מותפלים ליממה, כלומר מליון קוב לשנה.

דו"ח זה כולל ניתוח עדכני של ההשקעות ועלות המים במתקן ניסוי זה.

כל ההסכמים בין 'כור' לבין הטכניון נעשו ובידינו הזכויות לידע, לתכנון ולייצור.

אבקשך להנחותינו בקשר להמשך הטיפול בבניית מתקן התפלה, הראשון מסוג זה'.

תשובת נציב המים השתהתה שנתיים ולבסוף לא ניתן האישור.

הדבר נבע מצירוף נסיבות שהעיקרית בהן היתה משבר האנרגיה העולמי שהתרחש באותה תקופה. בעקבות המשבר עלה בצורה תלולה מחיר האנרגיה שהוא מרכיב דומיננטי בעלות המים המותפלים בשיטות אידוי.

חשבתי שאני פותר בעיה ממלכתית, לאומית, ולכן נכנסתי לנושא ההתפלה למשך חמש עשרה שנים. העבודה הזו היתה מאוד מעניינת, ממש תענוג היה כל יום שעבדתי שם, ולמדתי גם איך עובדים בקנה מידה גדול, תעשיתי.

החווייה, להיות בתוך תחנת כוח. אני לא יודע אם הייתם אי פעם בתוך תחנת כוח. זה משהו. זו כזאת דרמה של טכנולוגיה. משהו אדיר וענקי. מייצרים שם חשמל לרבע ארץ.

הייתי מאושר מכל יום שעבדתי בעניין המים, כשהייתי מטפס שם על הפיגומים בתחנת הכוח. הרגשתי שהגעתי עד לשלב המתקדם ביותר שניתן בקנה מידה של הטכניון. המתקן פעל והתקבל על ידי קבוצת המהנדסים של 'כור', שבדקו את פעולתו עשרים וארבע שעות ביממה לאורך שלושה שבועות. התהליך עבר את כל הטסטים. זה היה בסדר. טוב, זה לא התפקיד שלי להיות התעשיין. העברתי את הידע לתעשייה. אם צריך או לא צריך להמשיך, אלו שיקולים של אנשים אחרים ואני מקבל את זה. אני לא מהמתוסכלים. ידעתי שאני את תפקידי סיימתי, לכן אני עובר לתפקיד אחר. המשכתי לעסוק בדברים אחרים. זאת אותה תרמודינמיקה ואותה תורת זרימה: אפליקציות של אותם הדברים למשהו אחר.

שכבות תרמיות באוקינוס

לאחר הרצאת סיכום שנתתי על נושא ההתפלה בכנס במכסיקו סיטי ב'78 ניגש אלי ג'נטלמן, פקיד המימשל האמריקאי מ SERI המכון לחקר אנרגית השמש בגולדן קולורדו, ואמר שהתרשם שהידע שלי יוכל לעזור להם.

באותו זמן, ניסו באחד הפרויקטים הגדולים שלהם להפיק חשמל מהאוקינוס. באזורים טרופיים, טמפרטורת פני שטח המים גבוהה בכ־20 מעלות צלזיוס מהטמפרטורה של המים בעומק. ניתן ליצור בין שתי שכבות המים האלו גרטרור של חשמל, אמנם בעל נצילות לא גבוהה, אבל גם ללא צורך בהשקעה גדולה.

בשנת '78 משבר האנרגיה כבר היה בעיצומו ובאמריקה עשו מאמצים גדולים מאוד לייצר אנרגיה חלופית. הם ניסו לנצל גם את ההפרש התרמי הקטן הזה הקיים באוקינוס בכדי לבנות מתקנים לייצור חשמל. במתקן מסוג זה, גורמים למים, בטמפרטורה גבוהה מעט יותר, ואמר 30 מעלות צלזיוס, לרתוח בתת לחץ, והמים הקרים שבאים מהעומק מעבים את אדי הרתיחה. בדרך מהרתיחה לעיבוי מציבים טורבינה שמייצרת חשמל. במחקר ההתפלה הצטבר אצלי הרבה נסיון ברתיחה בתת לחץ, ברתיחה אפילו בטמפרטורת החדר.

לכן פנו אלי בעקבות אותה הרצאה מ SERI בהצעה שאקים להם מעבדה בקנה מידה גדול בנושא. העבודה שם היתה קשורה גם לאנרגיית השמש, וכך נכנסתי למחקרים באנרגיה חלופית.

גולדן
25.3.79

מתוך מכתבים שכתב לנו אבא
מדנבר קולרדו במהלך שהותו שם
עת הקים את מעבדת המחקר
לניצול הפרש התרמי של מי האוקינוס

ביקשו ממני שאתן סמינריון על הניסיון
שלנו בארץ בפיתוח ברכות השמש לאגירת
חום. בתחום זה נעשתה עבודה חלוצית
בארץ ועכשיו נכנסים גם האמריקאים במרץ
לנושא. יש להם יחס כבוד למאמץ ולהישגים
שלנו. ביום ששי האחרון הרציתי בפניהם. היו
אנשים רבים ממחלקות שונות ושאלו הרבה
שאלות בסוף ההרצאה. אשתדל לעזור להם
במיטב יכולתי, שהרי אנו בארץ מעוניינים
שיפותחו בעולם מקורות אנרגיה שיחליפו
חלקית את הנפט.

הטילו עלי להיפגש עם קבוצת מחקר
המתכננת תחנת כח שתנצל את אנרגית הים,
ואחרי כן היה עלי לטוס דרומה בכדי לתאם
תוכניות מחקר עם מעבדה ממשלתית. יצרתי
קשרים טובים בשני המקומות וגם למדתי
הרבה על הנעשה בתחום עבודתי במקומות
אחרים.

פליקן אילנד
10.4.79

גולדן
17.5.79

בדנבר התאקלמתי יפה בעבודה. יצרתי
קשרים עם מספר אנשים הן בנושא המוגדר
שלי - ניצול הפרש הטמפרטורה בין המים על
פני האוקינוס והמים בעומק רב לשם יצירת
חשמל - והן בנושא אגמי השמש, אשר פותח
בארץ ועכשיו מעורר עניין גם כאן.

קבלתי תפקיד לבקר בחברת ווסטינגהאוז
בפילדלפיה, וכן במעבדה ממשלתית
בטנסי. אחרי הפסח אחזור לעבודה לדנבר.
ההתרגשות הגדולה בעתונים בשבועיים
האחרונים, נסבה סביב דליפת החומר הרדיו
אקטיבי בתחנת הכוח הגרעינית בפנסילבניה.
הממשלה האמריקאית משתדלת לשכנע את
הצבור שאמנם קיים משבר אנרגיה ומתכוננת
להפעיל תוכנית אשר תאלץ חסכון בדלק.
הלוואי ויצליחו בכך.

לשאלתך אספר לך בקצרה על נושא עבודתי, איך הוא משתלב במאמץ לפתרון בעית האנרגיה ומה הקשר למחקר ההמתקה שלי.

אם מעבירים זרם חשמל דרך מנוע, הציר שלו מתחיל בתנועה ומסוגל להניע בכח מכונות. את החשמל מיצרים במכונה דומה למנוע, הנקראת גנרטור, בתהליך הפוך: אם מסובבים את ציר הגנרטור בעזרת כח חיצוני יוצר הגנרטור זרם חשמל. בייצור רוב החשמל בעולם מנוצל לחץ הקיטור לאספקת אותו כוח חיצוני, המסובב את צירי הגנרטורים שבתחנות הכח. על ידי שריפת דלק נוזלי או פחם מייצרים קיטור בתוך דוד סגור. הקיטור פורץ בלחץ רב מהדוד דרך צינורות המכוונים אותו אל כפות גלגל הטורבינה, המסובב את ציר הגנרטור.

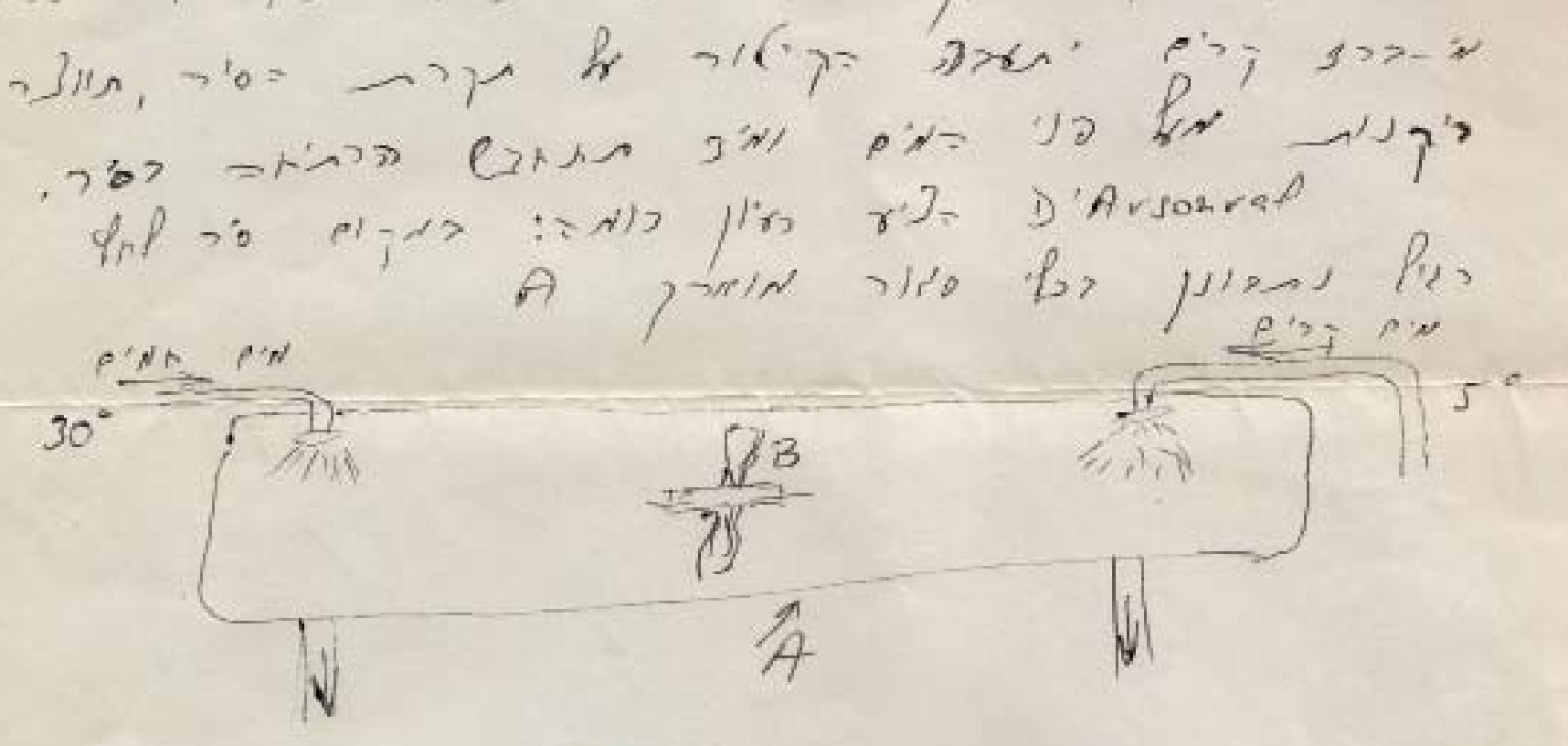
ישנן דרכים נוספות להניע את ציר הגנרטור, חוץ מכח הקיטור. לשם כך מנצלים את כח מפלי המים או כח הרוח. המים כבדים, ומפל מים מגובה רב מסוגל לפתח כח אשר אינו נופל בעוצמתו מכח הקיטור החם. המשקל הסגולי של האוויר כאלפית מהמשקל הסגולי של המים. לכן הכח המפותח על ידי הרוח הרבה פחות מרוכז ולשם הפעלת תחנת כח קטנה בעזרת הרוח, יש לבנות תחנת רוח ענקית. כאשר גדל המחסור בנפט, גם זו שחורה.

לפני כמאה שנה השתעשע חוקר צרפתי, ד'ארסונוול, עם רעיון יוצא דופן, שאפשר לייצר קיטור ללא הזדקקות לשריפת דלק כמו פחם או נפט. מים בתוך כלי אינם מתחילים לרתוח כאשר הם קרים, בגלל לחץ האוויר על פני המים. המנוע פליטת אדים מתוך המים, רק כאשר טמפרטורת המים עולה עד 100 מעלות משתווה לחץ

אדי המים ללחץ הנגדי של האטמוספירה והאדים מתחילים להשתחרר מהמים. וכל מה שעולה טמפרטורת המים כן יעלה לחץ אדי המים, והם יצליחו להשתחרר בכח בצורת בועות רתיחה. מכאן אפשר להבין שאם נכניס מים לתוך כלי סגור, כעין סיר לחץ, ונסלק את האוויר שמעל פני המים, תתחיל הרתיחה בטמפרטורה נמוכה מ 100 מעלות. כל כמה שנסלק יותר את האוויר ונקטין את לחצו מעל המים, תתחיל הרתיחה בטמפרטורה נמוכה יותר.

המקרה הבא מדגים יפה רתיחת מים בטמפרטורה נמוכה מ 100 מעלות כאשר אין לחץ אוויר מעל פני המים: כאשר שמים סיר לחץ על האש והטמפרטורה עולה על 100 מעלות מתחילה רתיחה בתוך הסיר, עודפי קיטור פורצים החוצה דרך שסתום הבטחון, ויחד אתם מסולק גם האוויר שהיה מעל פני המים. נוריד את סיר הלחץ מהאש

והרתיחה תפסק. אך הפעם מלא הנפח בסיר הלחץ שמעל פני המים בקיטור ולא באוויר. אם נצנן עכשיו את מכסה הסיר על ידי מי ברז קרים יתעבה הקיטור על תקרת הסיר, תיווצר ריקנות מעל פני המים ומיד תתחדש הרתיחה בסיר. ד'ארסונוול הציע רעיון דומה. במקום סיר לחץ רגיל, נתבונן בכלי סגור מוארך [A] [השרטוט מופיע בעמוד הבא]. נסלק את האוויר מתוכו. נפזר זרם מים חמים בקצה השמאלי של הכלי וזרם מים קרים בקצה הימני. המים החמים ירתחו ויווצר זרם אדים מהמים החמים אל טיפות המים הקרים, המעבות את האדים המגיעים אליהם. אם נכניס בדרכם של האדים גלגל עם כפות מפותלות [B], יניעו האדים את הכפות ויסובבו את הגלגל, והרי לנו מקור כח להנעת גנרטור שייצר חשמל.



חולשת התהליך: הוא מנצל אדים בלחץ נמוך מאוד ולכן ממדי המתקן עלולים להיות גדולים מאוד.

אני עסוק בפיתוח דרכים יעילות לשחרור האדים מהמים החמים ועיבויים במגע ישיר עם המים הקרים, בכדי להקטין את ממדי המכונה במידת האפשר ולהגדיל את סיכווי התהליך להצליח מבחינה כלכלית. באותם תהליכי רתיחה ועיבוי אדים בטמפרטורות נמוכות רכשתי ניסיון בפיתוח תהליך ההמתקה.

האדים המשתחררים מהמים ב 30 מעלות, לחצם נמוך מאוד בהשוואה ללחץ הקיטור בדוד המוסק בתחנות כח רגילה. לכן להפקת כמות חשמל מסוימת, נחוץ יהיה הרבה יותר אדים קרים מאשר קיטור חם, ונוכל לאזן את מגרעת הלחץ החלש של האדים על ידי שימוש בגלגל כפות גדול יותר.

אפשר להפעיל מכונה כזו ליצירת חשמל אם עומדים לרשותנו מקורות ענקיים של מים חמים ושל מים קרים. ד'ארסונוול הציע לנצל את המים שעל פני האוקיינוס באזור טרופיקי בתור מקור מים חמים, ומים הנשאבים מעומק רב (למשל 1000 מטר מתחת לפני האוקיינוס) בתור מקור מים קרים. מכאן שם התהליך: OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION. ובקיצור OTEC.

יתרונות התהליך: הוא אינו דורש שימוש בכחם, בנפט או באנרגיה אטומית; אין לו תופעות הלוואי של זיהום האויר כבתהליכים האחרים ומקור אנרגיה זה מתחדש מעצמו כל עוד השמש מחממת את פני האוקיינוס.

דובר 23.6.80	פרינסטון 6.6.80			דובר 4.5.80	דובר 2.9.79
<p>זה כבר עשרה ימים מאז חזרתי מהביקור בחוף המזרחי. התחלנו כבר להפעיל את המעבדה. עדיין לא ביצענו ניסויים של ממש. קודם יש לוודא שכל המערכות פועלות כשורה, שהוואקום אינו מתקלקל על ידי דליפת אויר, שהמשאבות שואבות בהתאם למתוכנן, שמכשירי המדידה מכוילים כהוגן. זה לוקח זמן, אך אנו מתקדמים די טוב. הקבוצה שהתגבשה סביב המעבדה מורכבת מאנשים מוכשרים, הם יוכלו להמשיך בהצלחה אחרי שאחזור ארצה. הציעו לי שאמשיך לתת להם יעוץ גם אחרי תקופת שהותי כאן. כמו כן סיכמתי אתם שאעביר מחקר עיוני מסוים, הקשור לנושא המעבדה ארצה ובמחקר זה יעסוק איש סגל נוסף של הפקולטה לאוירונאוטיקה.</p>	<p>אני כבר עשרה ימים בדרכים. השתתפתי בכנס על אנרגיה מהאוקיינוס בושינגטון במשך השבוע החולף. זו היתה הזדמנות לא רק לפגוש אנשים ממעבדות שונות ומהתעשייה העוסקים בנושא, אלא גם לשמוע על תוכניות הממשלה להפוך את האוקיינוס למקור חשמל חשוב בעתיד. גישת הממשל לנושא זה קצת מאכזבת, מתקבל הרושם שלא בוער להם כל כך. היו בכנס גם כמה מדענים מארצות חוץ. התרשמתי שהיפנים משקיעים מרץ רב בכדי להגיע לתוצאות מעשיות ולא מן הנמנע שיקדימו את האמריקנים. ביום א' אסע לבוסטון לפגוש פרופסור אחד הרוצה לשתף פעולה בפתוח נושא ההתפלה. בדרך חזרה לדובר אעבור גם במיניאפוליס, ליד האגמים הגדולים. שם יתקיים כנס לייזום תוכנית אמריקנית לפיתוח אגמי שמש, נושא המפותח בארץ. בדובר ישארו לי עוד פחות משלושה חודשים. אני מקווה לראות תוצאות מניסויי המעבדה שבנינו. בתקופה זו אתכונן גם לחידוש ההוראה בטכניון בשנה הקרובה.</p>			<p>בתקופת העדרי הגיעו חלקי הציווד השונים שהוזמנו עבור המעבדה אצל קבלנים והורכבו במקום. תוך זמן קצר נוכל להתחיל בניסויים של ממש.</p>	<p>בחוץ יום סתיו נאה, שקט ובהיר. רק טרטור מגזמות הדשא, הסוחבות אחריהן את בעלי הבתים, פוגם בשלוחה. יותר מאוחר נצא לטיול קצר בהרים. אני רוצה להראות לאמא שביל בגובה רב אשר ממנו רואים אחד הכבישים הראשיים המתפתל לאורך הנחל במורד וחודר פעמיים את ההר במנהרות.</p> <p>בשבועות האחרונים אני עוסק במיון והערכה של הצעות מחקר ובפיתוח שהוגשו לממשלה על ידי החברות התעשיתיות הגדולות בנוגע לתחנות כח שינצלו את אנרגית הים. את ההצעות הכינו צוותי מהנדסים מעולים, ומעניין מאוד לעקוב אחרי הרעיונות השונים שהומצאו לשיפור ויעול התהליך.</p>
					<p>לפני כשבועיים או שלושה ביקר כאן פרופסור ברנובר מבאר שבע ונתן הרצאה על עבודתו. הזמנו אותו אלינו לארוחת צהריים.</p>

דנבר	דנבר
24.8.80	10.7.80
<p>סיימתי פחות או יותר את תפקידי ב SERI. המעבדה פועלת וקבוצת המהנדסים המפעילה אותה מגובשת יפה. בסך הכול היה השבתון מוצלח מאוד ויצא בדיוק כפי שתכננתי אותו.</p>	<p>קראתי את הספר על שצ'רנסקי ששלחתם לי. זהו סיפור עצוב על רשעות של גויים וגבורה יהודית. יהי רצון ויהיה לסיפור זה סוף טוב. האם יוצא הספר לאור גם במהדורה אנגלית? פרסומו באנגלית יכול היה לעזור הרבה במאבק על דעת הקהל בעולם החופשי.</p>
<p>עם שובו מארה"ב הציע אבא למפעלי ים המלח לקדם רעיון הקשור במחקר זה, יצור קרנליט על ידי קירור תמלחות:</p>	<p>היום ביצענו את הניסוי הראשון במעבדה. לא היו תקלות וכולם היו שבעי רצון. בתקופה שנותרה לי אני מקווה לאסוף סדרה של תוצאות מעניינות. אני כבר מתחיל את הספירה לאחור ומתכוון לנסיעה הביתה. אין לי כאן יותר נכסים ולכן אינני מרבה בדאגה.</p>
<p>בשלב זה יש בידי כמות מצומצמת של תוצאות נסויים שבוצעו במרוצת הקיץ. התוצאות מאשרות את התוצאות המקורבות שהשגנו בטכניון. אך תודות לציוד המשוכלל שעמד לרשותנו מאפשרות התוצאות החדשות לפתח קורלציה יפה בין מקדם מעבר החום, עוצמת הסילונים, טמפרטורות ופרמטרים גיאומטריים מסוימים של הניסוי.</p>	<p>המעבדה פועלת במלוא הקיטור. תוכנית העבודה תשתרע על פני כמה שנים. נוצרו יחסים מצוינים ביני לבין יתר חברי קבוצת העבודה ואני אמשיך לשמש להם יועץ במשך השנה הקרובה. כך אמשיך לקבל בצורה מסודרת את תוצאות הניסויים השוטפים.</p>
<p>כעת, לאחר שובי לעבודה מלאה, מוכן אני להתמסר לשיתוף פעולה אתכם להמשך פיתוח תהליך קירור תמלחות. לדעתי ניתן לגשת בשלב זה להקמת דרגת אידוי-עיבוי אחת בתנאים תעשייתיים.</p>	

פירוק מים באנרגית השמש מבוא

המימן הוא דלק נקי ומרוכז:

נקי כי תוצרי שרפתו אדי מים בלבד (בשרפת דלק רגיל נפלטים מים ודו תחמוצת הפחמן).
מרוכז כי הוא מכיל פי שלוש יותר אנרגיה ליחידת משקל מדלק רגיל.

הפקת מימן על ידי פירוק מים באנרגית השמש יכולה לתת שני יתרונות:

1. ניצול אנרגית השמש לייצור מימן מהווה **חסכון באנרגיה**.
2. תהליך ה**ייצור עצמו נקי** מפליטת גזים מזהמים וזאת בניגוד לתהליך המקובל לייצור מימן (STEAM METANE REFORMING) על ידי חימום של מתאן (CH_4) ומים (H_2O), שבו נפלטת בסופו של דבר דו תחמוצת הפחמן (CO_2).
דו תחמוצת הפחמן = אפקט החממה = חימום כדור הארץ.

בלחץ נמוך ובטמפרטורה גבוהה מאוד ($2200^{\circ}C$), כרבע ממולקולות המים מתפרקות לאטומי מימן ולאטומי חמצן, ושלושה רבעים מהן נותרות מים. האתגר טמון במאמץ להפריד בין אטומי המימן לאטומי החמצן כשהם עדיין חמים, כי אם מאפשרים להם להתקרר כשהם מעורבים יתחברו שוב למולקולות מים. אתגר נוסף הוא שימור אנרגית החום שהושקעה בשלושה הרבעים שלא התפרקו.



מגדל השמש ושדה המראות במכון ויצמן

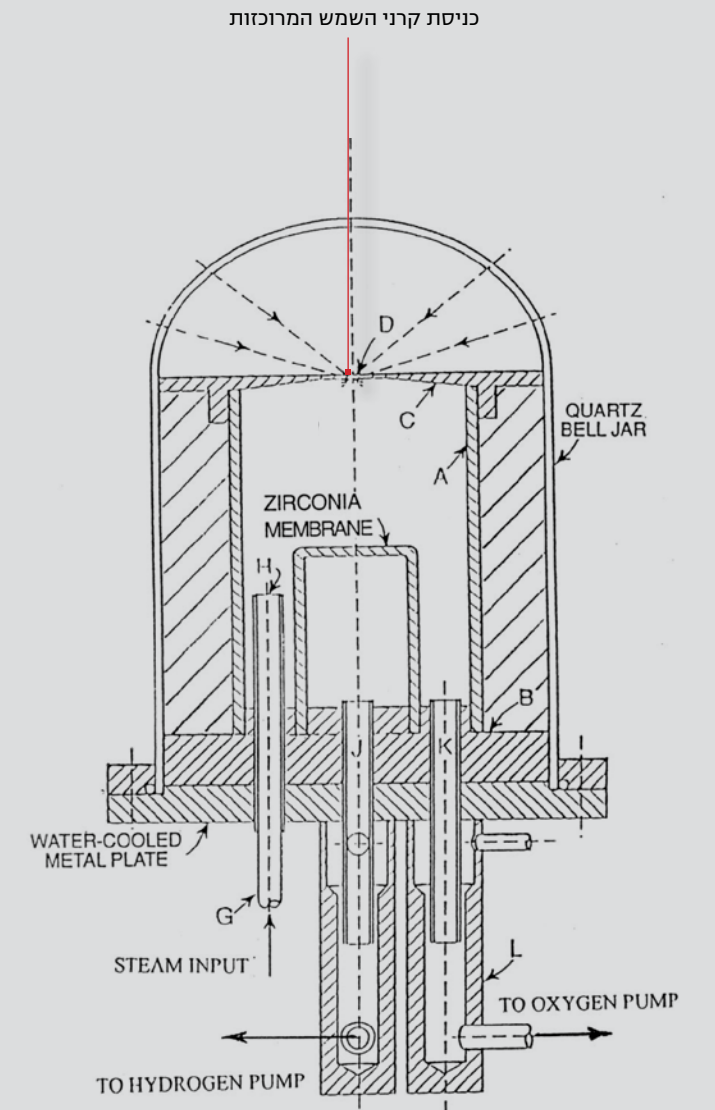
סבא אמר לנו -
אין לנו נפט, אבל יש לנו שמש! יש לנו רוח,
יש לנו מים מלוחים. זה הרבה מאוד. אפשר
לעשות עם זה המון.



הפרדה על ידי דיפוזיה

הרעיון המרכזי היה להפריד את הגזים על ידי דיפוזיה. תערובת הגזים כוללת פרודות של מימן, של חמצן ושל תרכובות שלהם (H , H_2 , O , O_2 , HO , H_2O). פרודות המימן קלות מהפרודות האחרות ולכן התנועה התרמית שלהן מהירה יותר.

כשתערובת כזו נמצאת ליד דופן נקבובית, נוצרת תנועה של הפרודות דרך הנקבוביות. הפרודות המהירות עוברות לצד השני של הדופן בקצב גבוה יותר מאשר הפרודות האיטיות. לכן בצד השני מצטברת תערובת עשירה בפרודות המהירות (הלא הן הפרודות הקלות - פרודות המימן), ואילו בצד הראשון נשארת תערובת עשירה בפרודות המכילות חמצן. בשלב זה ניתן לקרר את הגז העשיר במימן מבלי שיתחבר לחמצן, הנמצא בצדה האחר של הדופן הנקבובית.



מחזור הקיטור שלא התפרק

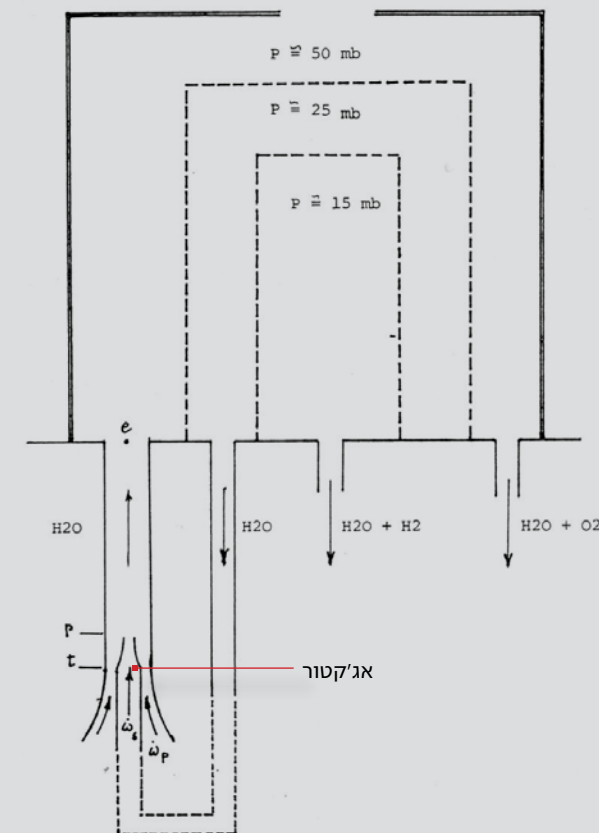
שלושה רבעים מאדי המים שנכנסים לראקטור, יוצאים ממנו כמולקולות מים שלא התפרקו. אם משליכים כמות זו מאבדים שלושה רבעים מהחום, שהופק בראקטור באנרגיית השמש. מתבקש לנסות להחזיר את הקיטור הלוהט לכניסה לראקטור, ולהוסיף לו רק רבע כמות אדי מים חדשים. כך אפשר להגדיל מאוד את הנצילות האנרגטית של התהליך.

כאן צריך היה להתגבר על שני קשיים:

1. הקיטור שנפלט מכיל תערובת של מים, מועשרת באטומי חמצן שנשארו מאחור כשאטומי המימן עברו לצד השני של הממברנה הנקבובית. הכנסת התערובת המועשרת בחמצן שוב ושוב לתוך הראקטור תגרום לעלית ריכוז החמצן ולקלקול תנובת המימן בהמשך.
2. החזרת הקיטור הלוהט למקום שממנו הגיע דורשת משאבה. איזו משאבה מסוגלת לשאוב גז לוהט ב 2200°C ?

הפרדה כפולה שמאפשרת מחזור

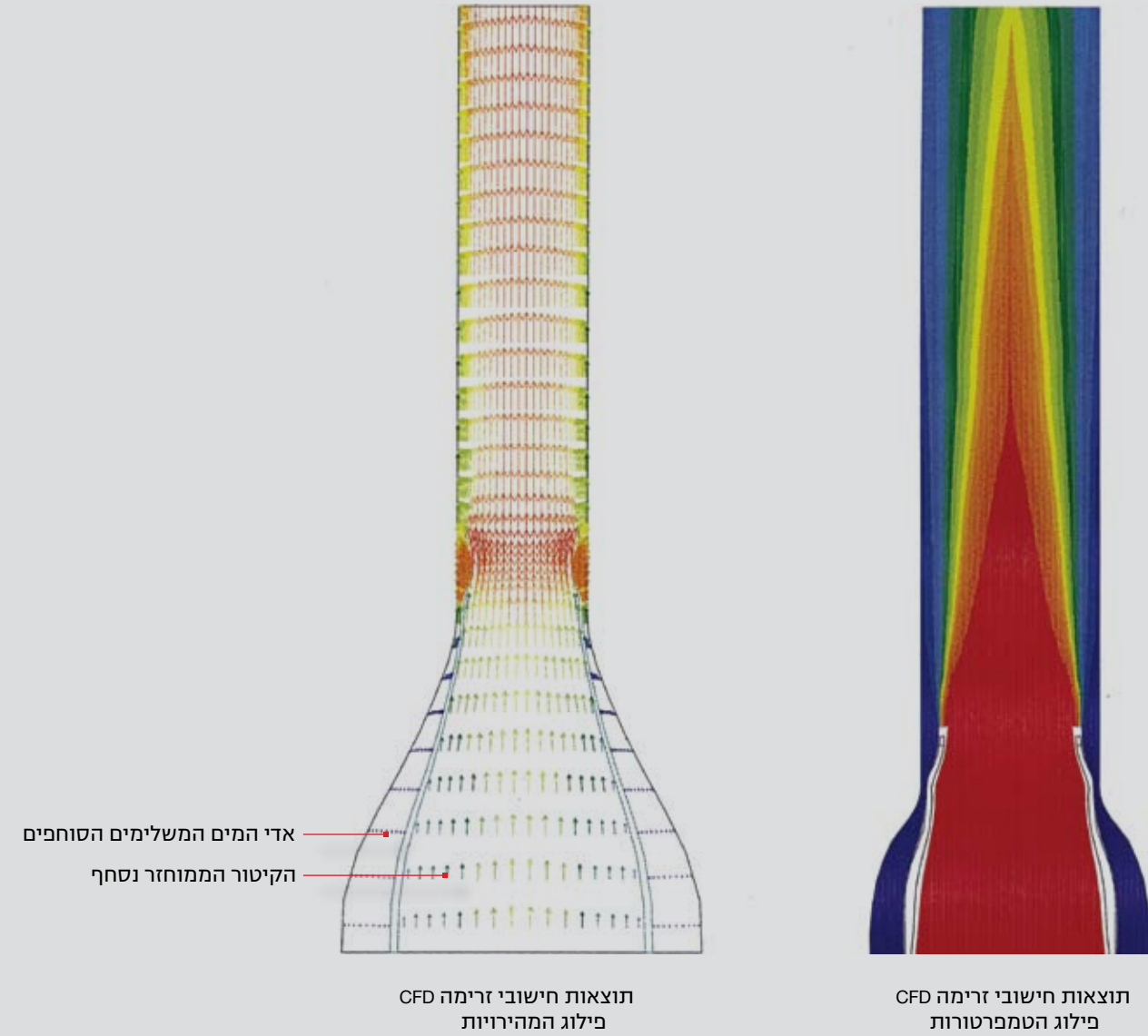
כדי לאפשר מחזור, אבא חשב על רעיון - לתת לאדי המים לעבור דיפוזיה דרך שתי ממברנות נקבוביות בטור. בתא הראשון ישאר גז מועשר בחמצן, לתא האחרון יגיע גז מועשר במימן, ואילו בתא המרכזי בין שתי הממברנות ישאר רוב הגז בהרכב ממוצע - כלומר בעיקר אדי מים שאינם מועשרים לא בחמצן ולא במימן. את הגז מהתא המרכזי ניתן להחזיר לתחילת התהליך בתוספת כמות משלימה של אדי מים חדשים.

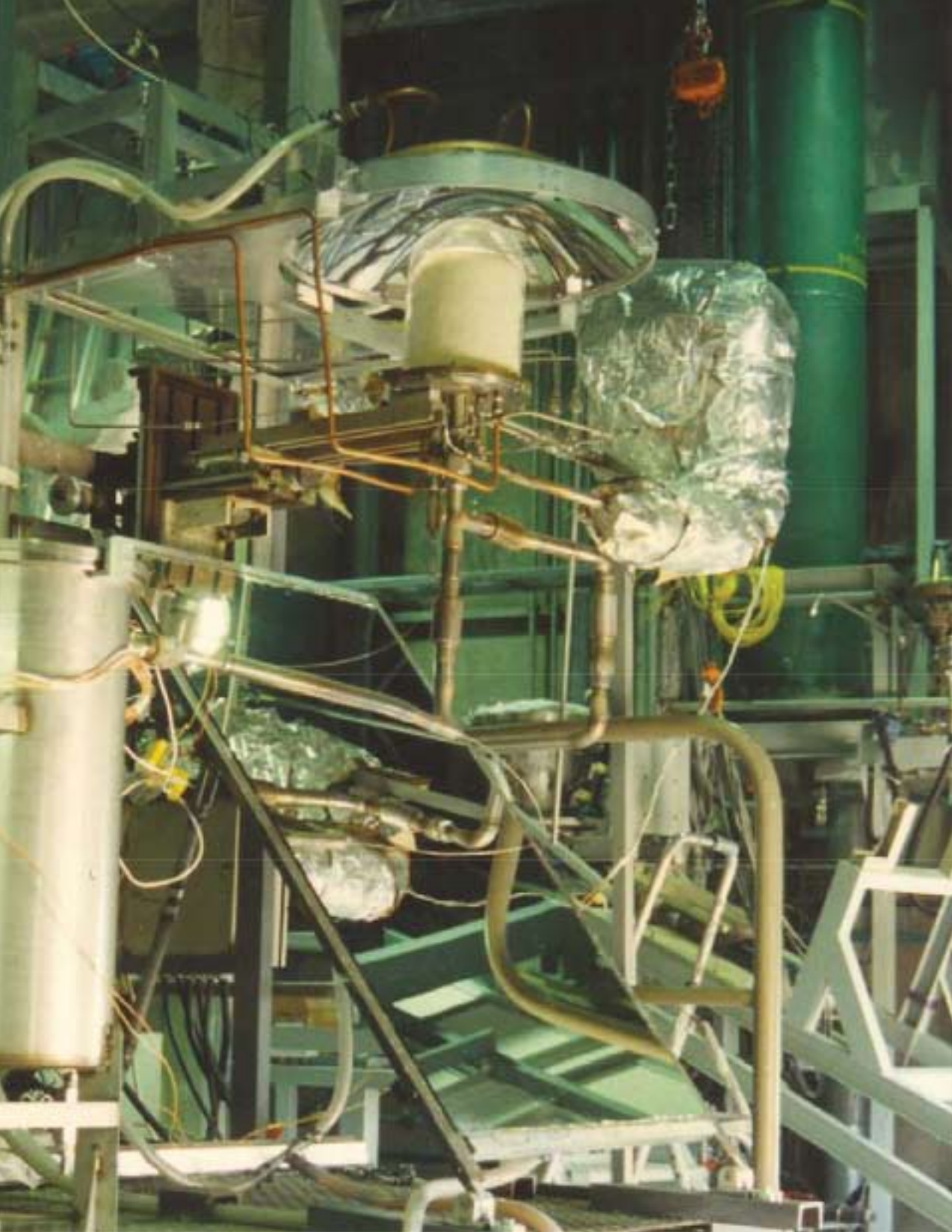


שאיבת אדי המים הלוהטים

כדי להתגבר על בעיית השאיבה של גז לוהט, עלה הרעיון להשתמש באפקט האג'קטור. זרם גז מהיר סוחף אתו גז שנמצא בסביבתו. ניתן לנצל זאת כדי לסחוף את הגז הממוחזר הלוהט, על ידי הזרימה של אדי המים המשלימים המוכנסים לראשונה לתהליך. בצורה זו אין משאבה מכנית עם חלקי מתכת שימסו בחום, אלא מבנה פשוט של צינור קרמי (לא נקבובי) שסביבו צינור קונצנטרי בעל קוטר גדול יותר. מתוך המרווח שבין שני הקטרים פורצת זרימת אדי המים המשלימים שסוחפת אתה את הגז הלוהט המגיע בצינור המרכזי.

כדי לחקור בשלב הראשון את האפשרות הזו באופן תאורטי, נעזר בשני מרצים בפקולטה לאוירונאוטיקה - וולפשטיין ושפיגלר - לביצוע חישובי CFD (COMPUTERIZED FLUID DYNAMICS) של סחיפת גז לוהט על ידי גז שני בתצורות שונות של מפגש ביניהן.



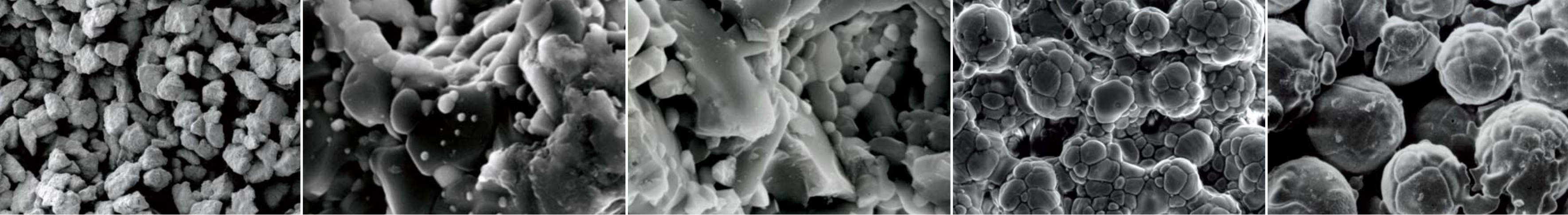


בתחתית התמונה מראה שטוחה
להטיית הקרינה של ההליוסטט.
בחלקה העליון הראקטור המצוי
בתוך פעמון קוורץ שקוף.
מעל הפעמון נמצאת מראה פרבולית
מרכזת (63 ס"מ קוטר).

ניסויים בחום

במתקן שהוקם בקומה השביעית של המגדל בוצע ריכוז כפול של קרינת השמש כך שהקרינה שפגעה בהליוסטט ששטחו כשבעה מטרים רבועים, 'הושחלה' לתוך חור של סנטימטרים בודדים בראקטור.

הטמפרטורה התקרבה ל 2000°C , אדי המים שהוכנסו לראקטור התחילו להתפרק, והתקבלה הפרדה של מימן. כעבור כעשרים דקות בטמפרטורות הלוהטות איבדה הדופן הנקבובית של הראקטור את תכונותיה והתהליך נפסק.



דוגמאות מבנה מיקרוסקופי של דגמי קרמיקה. בשתי התמונות מימין דגם צירקוניה לפני ואחרי חשיפה ממושכת לחום גבוה. ניתן לראות שנוצרה התחברות של הגרעינים.

המעבר לפירוק מתאן

בעקבות ניסיונות רבים עם דגמי קרמיקה נקבובית, בהם כבר אחרי כמה עשרות שעות בטמפרטורות גבוהות - השתנה מבנה החומר, הוחלט בעצה אחת עם גב' מריאן רוז מטעם משפחת התורמים שמממנים את המחקר, לעבוד במקביל על תהליך לפירוק של מתאן למימן ופיח באנרגיה שמש. גם בתהליך זה מתקבל מימן אבל טמפרטורת הפירוק נמוכה משמעותית מטמפרטורת הפירוק של מים.

בניגוד לפירוק המים בו התוצרים הם שני גזים, מימן וחמצן, בתהליך פירוק המתאן לא נדרשת קרמיקה נקבובית להפרדת התוצרים כי הפיח מתקבל כחלקיקי מוצק ולא כגז ומשום כך ניתן להפרידו ע"י פילטר קונבנציונלי.

חסרון פירוק המתאן הוא בכך שחומר המוצא, המתאן, הוא דלק בפני עצמו. לכן לא ניתן להרוויח, כלכלית, רק מניצול המימן שמתקבל, כדלק, מאידך לתוצר השני של התהליך, אבקת פיח, יש גם כן ערך שיכול להפוך את התהליך לכדאי, כלכלית. היתרון העיקרי מבחינת התורמים היה בכך שגם התהליך הזה, כמו פירוק המים, הוא תהליך 'נקי' ללא פליטת דו תחמוצת הפחמן.

עמידות הדופן הנקבובית בטמפרטורות הגבוהות

מאחר ותהליך פירוק המים דורש טמפרטורה של לפחות 2200°C היה צורך למצוא חומר שעומד לאורך זמן בטמפרטורות כאלה, שממנו ניתן ליצר את הדופן הנקבובית.

התברר שזו בעיה מאוד לא פשוטה, ומסיבה זו בסופו של דבר נעצר המחקר. גם אם החומרים הקרמיים לא נמסים הם נוטים לעבור תהליך של סינטור בחשיפה ממושכת לחום גבוה. בתהליך זה עוברות מולקולות של הקרמיקה בדיפוזיה ממקום למקום ועל ידי כך המבנה המיקרוסקופי של החומר משתנה. שינוי אופייני אחד הוא גידול הגרעינים. שינוי אחר יכול להיות סתימת המרווחים שבין הגרעינים. שינוי אפשרי נוסף - יצירת סדקים בחומר.

נעשה ניסיון להיעזר בכמה מעבדות לפיתוח חומרים קרמיים: חברת SELEE CORPORATION בארה"ב, אוניברסיטת הנגב והמכון למחקר ולפיתוח. עיקר המאמץ נעשה בשיתוף המכון לקרמיקה וסיליקטים בטכניון.

פותחו חומרים שונים על בסיס צירקוניה (קרמיקה עמידה בטמפרטורה גבוהה) עם גרגרים בגדלים שונים ובצורות שונות, עם או בלי אבקת קישור בין הגרגרים. הדגמים השונים צולמו במיקרוסקופ אלקטרוני וכן נבדקה מידת העבירות שלהם לגז (פרמיאביליות). לאחר מכן עברו שרפה בטמפרטורות שונות למשכי זמן שונים, ואז נבדקו שוב במיקרוסקופ ועברו בדיקת עבירות לגז.

הפקת מימן על ידי פירוק מתאן באנרגיית השמש מבוא

המתאן (CH_4) הוא גז אדמה המורכב ממימן (H_2) ומפחמן (C). פירוק מתאן באמצעות חום, הוא דרך ישירה להפקת המימן מהמתאן. תהליך הפקת מימן על ידי פירוק מתאן בעזרת אנרגיית השמש נקרא STMS (SOLAR THERMAL METHANE SPLITTING). המתאן מתפרק לשני רכיביו: מימן המתקבל כגז, ופחמן המתקבל כאבקת פיח. ערכו הרב של המימן כתחליף לדלק, בכך ששריפתו אינה פולטת דו תחמוצת הפחמן, אלא אדי מים בלבד. אבקת הפיח המתקבלת בפירוק, מהווה מוצר בעל ערך בפני עצמו. בתנאי פירוק מסוימים האבקה מכילה ננו־חלקיקים ('פולרינים') שערכם רב.

כמו בפירוק המים גם כאן, התהליך מתבצע כראקציה כימית בתוך כלי סגור הנקרא ריאקטור. על הריאקטור להיות כלי אטום, על מנת למנוע מפגש בין התוצרים החמים והדליקים של התהליך לבין החמצן שבאוויר. כניסת קרני השמש המרוכזות אל תוך הריאקטור צריכה לכן להתבצע דרך חלון.

מטרת תהליך ה־STMS היא להחליף את התהליך המקובל לייצור מימן MSR (METHANE STEAM REFORMING) שבו מחממים מתאן (CH_4) ומים (H_2O) ומקבלים בסופו של דבר מימן (H_2) ודו תחמוצת הפחמן (CO_2). יתרון ה־STMS על פני ה־MSR בכך שאינו פולט דו תחמוצת הפחמן. כך יוצא שלא רק השימוש במימן, אלא גם תהליך הייצור שלו אינם מזהמים את האטמוספירה בדו תחמוצת הפחמן.

האתגרים העיקריים בפיתוח התהליך:

הגנת החלון מפני זיהום באבקת הפיח הנוצר.

ריכוז הקרינה לתוך חלון צר בריאקטור.

עמידת החלון בקרינה המרוכזת.

העברת החום למתאן החולף כגז במהירות דרך הריאקטור.

הגנת כלל מרכיבי המערכת מפני חימום יתר.

מוניעת סתימת מעברי הגז על ידי הצטברות אבקת פיח.

הגנת החלון על ידי מחיצה

פיח הנוצר בראקטור ומגיע לחלון מעכיר אותו וגורם לקרינת השמש המרוכזת, במקום לעבור לתוך הראקטור ולחמם את המתאן שבתוכו, לחמם את החלון עצמו. דבר זה יביא לשבירת החלון או להמסתו. במטרה לבחון דרכים להגנה על החלון בפני הפיח בוצעו ניסויים ראשוניים, ללא חום, במקל גלילי שקוף מזכוכית.

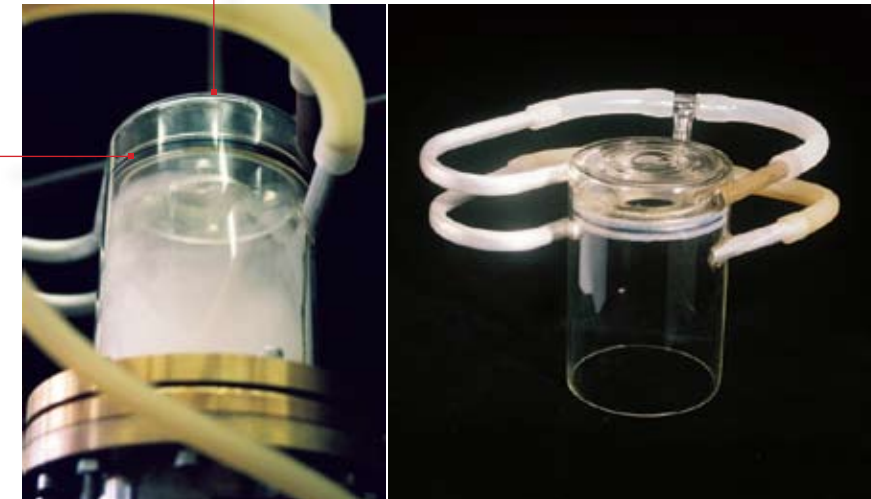
המכל דימה ראקטור ובתוכו מחיצה עם פתח. תקרת המכל דימתה את החלון דרכו נכנסת הקרינה. הרעיון היה בסופו של דבר להזרים מתחת למחיצה מתאן, שיתפרק למימן ולפיח, ולמלא את החלל שבין החלון למחיצה בגז נקי מפיח - למשל הליום - שיזרום כלפי מטה דרך הפתח במחיצה, וימנע זרימה של פיח כלפי מעלה אל החלון.

ניסויי הזרימה הראשונים היו ללא חום. שתי הזרימות היו של חנקן, אלא שהזרימה שהוכנסה לקומה התחתונה 'נצבעה' על ידי עשן. כך ניתן היה לשנות פרמטרים שונים ולבחון האם עובר עשן דרך הפתח ומגיע לחלון. לשם כך היה צורך לפתח שיטה לייצור אפקטיבי של עשן לניסויים. העשן יוצר על ידי טפטוף מבוקר של שמן על קרקעיתו הלוהטת של כלי זכוכית שחומם על ידי מבער.

אבא ייצר את הכניסות לראקטור הזכוכית במו ידיו על ידי קידוח חורים טונגסיליים בכלי זכוכית, והדבקת צינורות הכניסה. הקידוח, שבוצע על ידי מקדחים מיוחדים עשויים ממתכת מעורבת באבקת יהלומים, נמשך זמן רב. בתהליך הקידוח נשבר לפעמים הכלי וצריך היה להתחיל את התהליך מתחילתו על כלי זכוכית חדש. באותה תקופה עבדה אתו ריטה רוזנצוויג.

דימוי חלון

מחיצה עם פתח מרכזי



ניסויי זרימה בראקטור ללא מחיצה

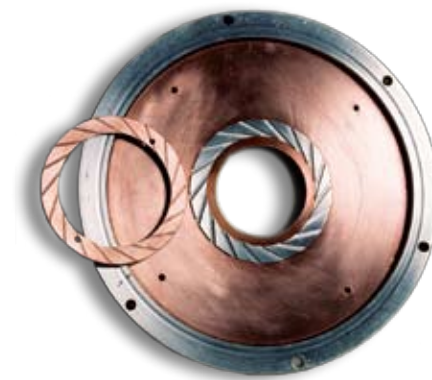
ההנחה בניסויים הקודמים היתה שניתן להפריד בין הזרימה העיקרית לבין הזרימה המגינה באמצעות מחיצה ובה מפתח צר. אבל בהמשך בוצע תכנון לראקטור בו לא ניתן היה להכניס מחיצה מתחת לחלון, מבלי לשבש את קרני השמש הנכנסות.

היה צורך לכן, ליצור זרימת גז מגן שתצמד לחלון מבפנים כשכבת גבול עצמאית, ללא תמיכה של מחיצה פיזית מתחתיה. זו שיטה המוכרת בשם מחיצת גז (GAS CURTAIN): הזרמה של גז נקי צמוד לחלון מכל ההיקף שלו לכוון המרכז, תפריד בינו לבין הפיח שנמצא בחלל הראקטור, בתנאי שלא תתנתק מהחלון. אולם, לתנאי זה קשה להתקיים מאחר והזרימה צפויה 'להתעייף', לאבד מהירות ולהתנתק לאחר מהלך מסוים בדרך למרכז החלון.

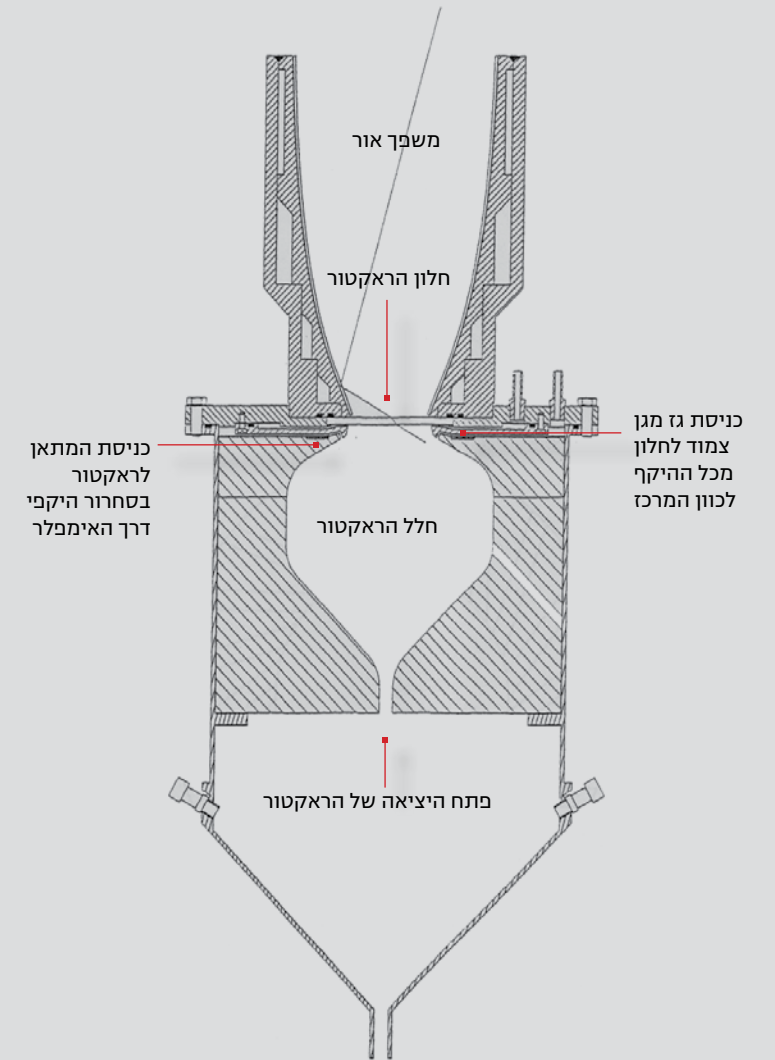
כדי להגן על אזור נרחב יותר של החלון תידרש זרימה מגינה חזקה יותר. הזרמה של כמות גז גדולה מאוד לשם הגנה הינה פזרנית מבחינה אנרגטית: חלק גדול מחום הראקטור יתבזבז על חימום זרימת המגן במקום לחמם את המתאן.

כדי לבדוק כמה גז צריך להזרים ליד החלון על מנת לקבל הגנה יעילה, תוכנן ראקטור שבו הגז העיקרי (מתאן) הוכנס דרך אימפלר בזרימת סחרור, והגז המגן (הליום) הוזרם צמוד לפני החלון מכל ההיקף לכוון המרכז.

גם הפעם בוצעו תחילה ניסויים ללא חום עם שתי זרימות של חנקן. הפעם דווקא הזרימה המגינה 'נצבעה' בעשן (הפוך מהתהליך האמיתי בו הזרימה המגינה שקופה והזרימה העיקרית טעונה בפיח).



'אימפלרים'



תרשים ראקטור...

גילוי תופעת הטורנדו

בהסתכלות מחוץ לראקטור קשה היה להבחין אם זרימת העשן צמודה לחלון או שהיא מתנתקת ממנו. כדי להבחין במתרחש נשלחה קרן לייזר דקה לתוך הראקטור. בכל מקום שהקרן עוברת דרך עשן היא מאירה אותו באור אדום.

כאן התגלתה תופעה מפתיעה: כשהזרימה העיקרית נכנסת בסחרור היקפי (זרימה טנגנציאלית) - הזרימה המגינה (עם העשן) יוצרת שכבה דקה בצמוד לחלון. ככל ששטח החלון נסרק עם קרן הלייזר, נמצא שאין התנתקות בשום מקום.

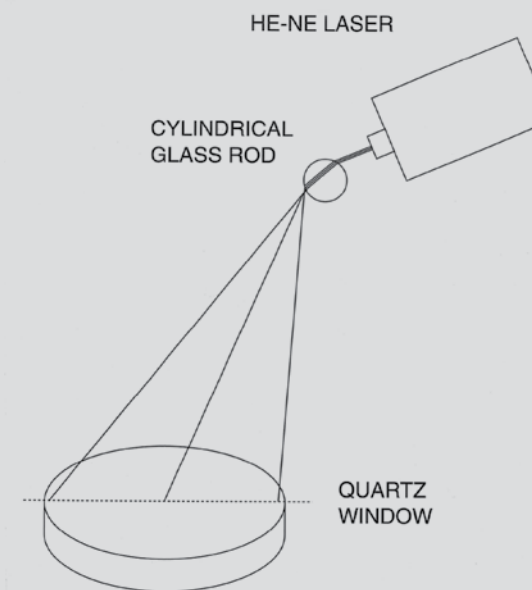
כדי לראות בבת אחת חתך שלם של הראקטור, הועברה הקרן דרך מוט זכוכית עגול שפיצל אותה לאלומה מישורית דקה. כך התקבל אמצעי המחשה המראה חתך שלם דרך זרימה, כמו חתך CT רפואי. התברר שבתוך הראקטור נוצר טורנדו בזעיר אנפין.

הזרימה העיקרית נכנסת בהיקף בקרבת החלון תוך שהיא מסתחררת, ויוצאת דרך חור מרכזי ממול לחלון. בגלל חוק שימור התנע הסיבובי, הזרימה מסתחררת יותר ויותר מהר ככל שהיא מתקרבת מההיקף למרכז. כדי לאזן את הכוחות הצנטריפוגליים החזקים שפועלים על הגז, נוצר גרדיאנט לחצים במגמת ירידה תלולה ככל שמתקדמים מההיקף למרכז. הגרדיאנט הזה הוא הסוד המונע את התנתקות שכבת הגז המגן מהחלון. על פי חוקי האוירודינמיקה ידוע, ששכבת גבול מתנתקת ממשטח אליו היא צמודה כשהיא מאבדת את מהירותה במקביל אליו.

במקרה שלנו - גרדיאנט הלחץ היורד לכוון מרכז החלון, דוחף את הזרימה המגינה הצמודה אליו הלאה והלאה, כך שהיא לא מאבדת את מהירותה ולכן היא איננה מתנתקת. התברר שניתן להזרים כמות קטנה מאוד של גז מגן ולמרות שאינו נתמך על ידי מחיצה תחתית - הוא אינו עוזב את החלון.

על תגלית הטורנדו הזו נרשם פטנט בארה"ב.

הזרימה המגינה לא מתנתקת חלון הזרימה המגינה מתנתקת



מימין תרשים הלייזר לצפייה בתופעת הטורנדו בראקטור
למעלה תמונות המציגות ניסויים, בסדר עולה של רמת הסחרור של הזרימה העיקרית. מימין לשמאל הסחרור גובר וההצמדה לחלון של הזרימה המגינה (הצבועה בעשן) משתפרת
למטה טורנדו בטבע



בניה עצמית של משפך אור

הניסויים הראשונים של פירוק מתאן על ידי קרינת השמש, תוכננו להתבצע בעזרת הליוסקט בודד, אחד מבין שישים וארבעה ההליוסטטים שמכיל שדה המראות של מגדל השמש. הליוסטט הינו מראָה, העוקבת אחר תנועת השמש ומרכזת את קרינתה אל מוקד הניסוי.

בניסוי מעין זה ניתן לרכז את הקרינה, מעבר לריכוז שיוצר ההליוסטט, על ידי מראָה פרבולית. כל הקרינה המגיעה מן ההליוסטט הבודד מתרכזת לכתם קטן במישור המוקד של המראָה הפרבולית.

על מנת שניתן יהיה להכניס לראקטור קרינה מכמה הליוסטטים, שכל אחד מהם מרכז קרינה מכוון אחר, יש להשתמש ב-CPC (COMPOUND PARABOLIC CONCENTRATOR) משפך אור. משפך זה מאפשר כניסתן של קרני שמש, המגיעות מכוונים שונים, לתוך הפתח הצר של הראקטור.



CPC 'מאפה בית' בשלבי הייצור השונים

את הטכניקה הזו למד כבר במחקר הקודם של פירוק המים, גם בו היה צורך להגן על המראה המרכזת מהתחממות יתר. כאשר מפעם לפעם היתה המראה מאבדת את הרפלקטיביות שלה, היה צורך להחליפה במראה חדשה. אבא היה ניגש במרץ למלאכה המייגעת של כיפופים והדבקות כל פעם מחדש.

בהמשך פותחה דרך חדשה לקירור: ייצור טבעות מתכת והדבקתן לכלי הזכוכית. כל טבעת יוצרה משני חלקים מרותכים שביניהם הוזרמו מי קירור.

בשלב מאוחר יותר יוצר גוש אחד מאלומיניום, אשר רותך משני חלקים, שביניהם הוזרמו מי הקירור. הצורה הפנימית של הגוש התאימה לצורת ה CPC. במרווח ביניהם הוכנס דבק עם עלי נחושת לשיפור הולכת החום.

כמו רכיבים רבים גם את 'משפך האור' אין למצוא על מדף בחנות, והיה צורך לפתח שיטות לייצור עצמי שלו. אבא לקח כלי זכוכית בצורת חרוט ונתן לנפח הזכוכית של המכון לעצב אותו בעבודת יד לפי תבנית דו-מימדית של הפרופיל הדרוש.

אחר כך נתן אותו בידי מומחה לציפוי זכוכית בכסף, כך שהכלי הפך למראה בצורת CPC.

בהמשך, כדי שהציפוי לא ישרף והזכוכית לא תישבר עקב פגיעה של קרינת שמש מרוכזת, היה צורך לדאוג לקירור הזכוכית. אבא השיג צינור נחושת, הקפה אותו על ידי חימום במבער כך שניתן היה לכופף אותו בקלות, וליפף אותו על אימום אלומיניום בצורת ה CPC.

לבסוף, הדביק את הצינור המלופף לכלי הזכוכית על ידי דבק מיוחד, בעל מוליכות חום גבוהה.

ניסויי פירוק ראשונים בחום

הניסויים הראשונים בחום בוצעו עם מראה פרבולית ו CPC צמוד לראקטור. חלל הראקטור היה בצורת קונוס. אחד הניסויים, לדוגמה, נמשך חצי שעה, ואחוז הפירוק של המתאן הגיע עד 28%. בסיום הניסוי היה על החלון כתם פיח קל בלבד.

הבעיות שהתעוררו בניסויים אלה היו:

הצטברות אבקה וגרגרים של פיח ביציאת הראקטור בחלק מהניסויים.

דופן הראקטור העשויה צירקוניה נסדקה מהחום ונוצרו מעברים עוקפי טורנדו.

התפיחות ואף סדיקה של חלון הקוורץ בסיום של חלק מהניסויים. נראה שאפשר לשייך את התפיחות החלון לשיבוש הטורנדו, עקב הפרעות ביציאה בגלל הצטברות פיח, ועקב זרימה עוקפת דרך סדקים בדופן.

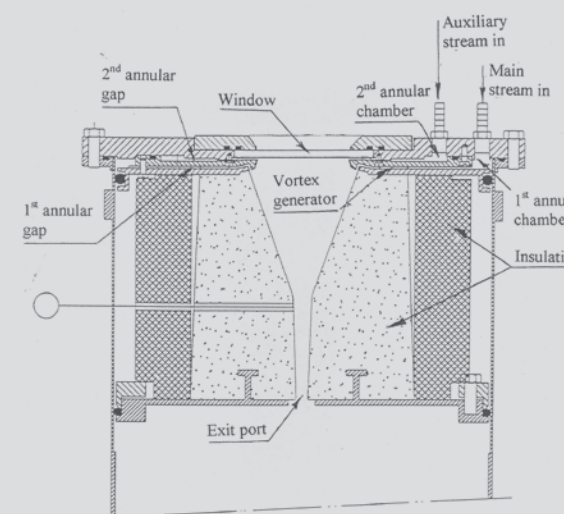
בסדרת הניסויים הבאה חלל הראקטור היה בצורת גליל. בניסויים אלו נבחנו תצורות שונות ליציאת הטורנדו. כולן מאופיינות בשינוי חד בחתך הזרימה בפתח היציאה, בהשוואה לראקטור הקוני.

ברוב הניסויים, תוך זמן מסוים נוצרה סתימת פיח בפתח היציאה, הלחץ בראקטור עלה והניסוי הופסק. אחוזי הפירוק היו נמוכים. הסתבר שחימום המתאן קשור למגע הדוק עם דופן חמה, ובראקטור זה, ההזדמנות העיקרית של המתאן לזרום צמוד לדופן חמה היא בנקודת היציאה. לכן התקבל פחות פירוק של מתאן למימן ופיח, והפירוק שבכל זאת קרה - התרחש בנקודת היציאה וגרם לסתימתה בהצטברות פיח.

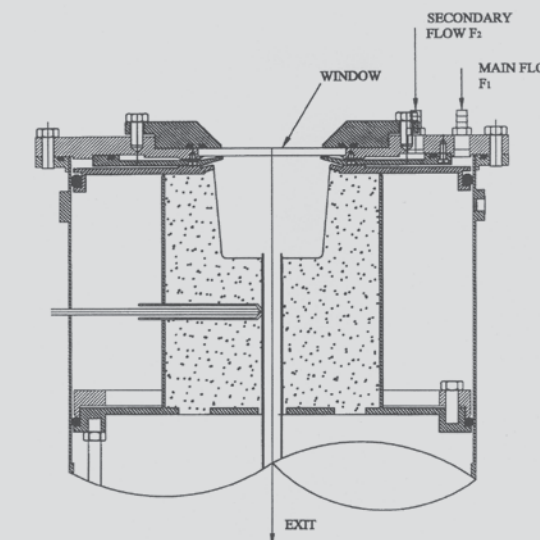
באחד הניסויים קוררה היציאה על ידי מים.

בניסוי זה לא נסתמה היציאה, אך המתאן לא התפרק כלל.

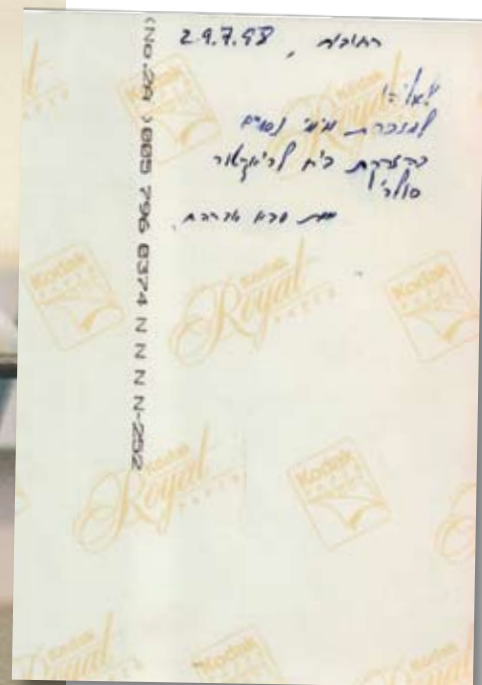
בניסוי אחר הוכנסה דיסקת טיטניום למרכז הראקטור ושימשה להעברת חום הדוקה למתאן. בניסוי זה התקבל פירוק של 25% ועל הדיסקה הצטברה שכבה עבה של פחם קשה כאבן. הניסוי הופסק כשהטורנדו הופרע על ידי מבנה הפחם שנוצר.



תרשים ראקטור קוני



תרשים ראקטור גלילי



פיתוח טכניקה להרחפת פיח וזרייתו לראקטור

המסקנה מאחוזי הפירוק הנמוכים עד כה היתה, שאין מנוס מהזרקת אבק קולט קרינה לתוך הראקטור. בצורה זו כל נפח הראקטור ישתתף בפירוק ולא רק המתאן העובר קרוב לדופן החמה. כמובן שבתהליך זה הגיוני שבתור אבקה ישמש פיח.

הרעיון העקרוני הוא להזרים חנקן דרך פתח צר בקרקעית כלי עם אבקת פיח. הזרימה מערבלת את האבקה ונוצר תרחיף. בהמשך, הזרימה מגיעה לראקטור כשהיא נושאת עמה את התרחיף.

כבר בשלב קודם נעשו נסיונות הרחפה. התברר שתהליך ההרחפה הוא 'פרויקט' בפני עצמו.

מצד אחד, הזרימה שמכניסה את הפיח לתוך הראקטור צריכה להיות חלשה כדי שלא לקלקל את הטורנדו, ומצד שני יש קושי להרחיף את הפיח על ידי זרימה כזו. כשהזרימה חלשה, היא מפנה לה תוך זמן קצר 'מנהרות' דרך גוש האבקה, שנשאר יציב ללא תנועה. מכאן והלאה נפסק הערבול, והזרימה נקיה מאבקה.

אחד הפתרונות היה להניח כדורית פלדה על פתח כניסת החנקן, כך שאפילו כשהזרימה חלשה הכדורית רוטטת (אפקט המשרוקית) ועל ידי כך מונעת התייצבות ערמת הפיח במצב קבוע עם 'מנהרות'.

שיפור נוסף היה להזרים זרימה חזקה דרך האבקה ולהכניס רק חלק ממנה לתוך הראקטור כדי לא לשבש את הטורנדו.



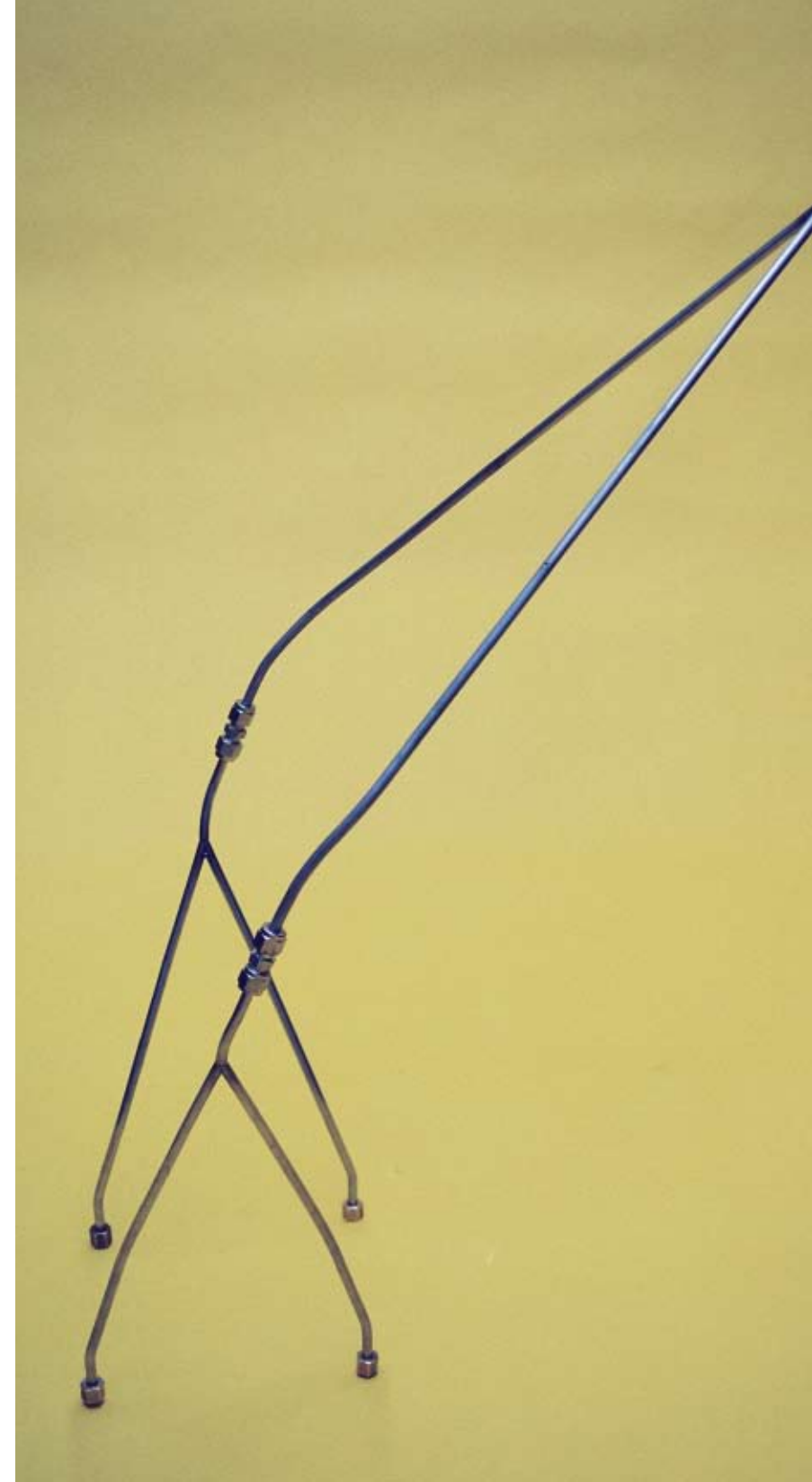
הכנסת זריית הפיח לתוך הראקטור

בוצעו ניסויים רבים ללא חום, שמטרתם היתה לבדוק איך ניתן להכניס את זריית הפיח לתוך הראקטור. התברר שאם מנסים להכניס את תרחיף האבקה לפני האימפולס, שמסחרר את המתאן בכניסתו לראקטור, האבקה שוקעת וסותמת את המעברים.

בשלב הבא הוזרקה האבקה ישירות לתוך הראקטור, דרך חור בדופן שלו. נעשו ניסויים על מנת לבדוק אם הוזרקה איננה משבשת את הטורנדו. וכאן היתה תעלומה: ברוב הניסויים החלון העשוי פרספקס התפיח מהאבקה שנזרתה לראקטור, בין אם זרימת הזרייה היתה גדולה ובין אם היתה קטנה.

התברר שחלון הפרספקס נטען בחשמל סטטי שמשך בכח רב את האבקה והדביק אותה אליו. בעיה זו איננה רלוונטית לניסויים בחום, בהם הגז מיונן (פלזמה) ואין חשמל סטטי.

'מפלג עם סגמונטיים'
מפלג גז להכנסת האבקה לראקטור
בארבע נקודות בהיקף



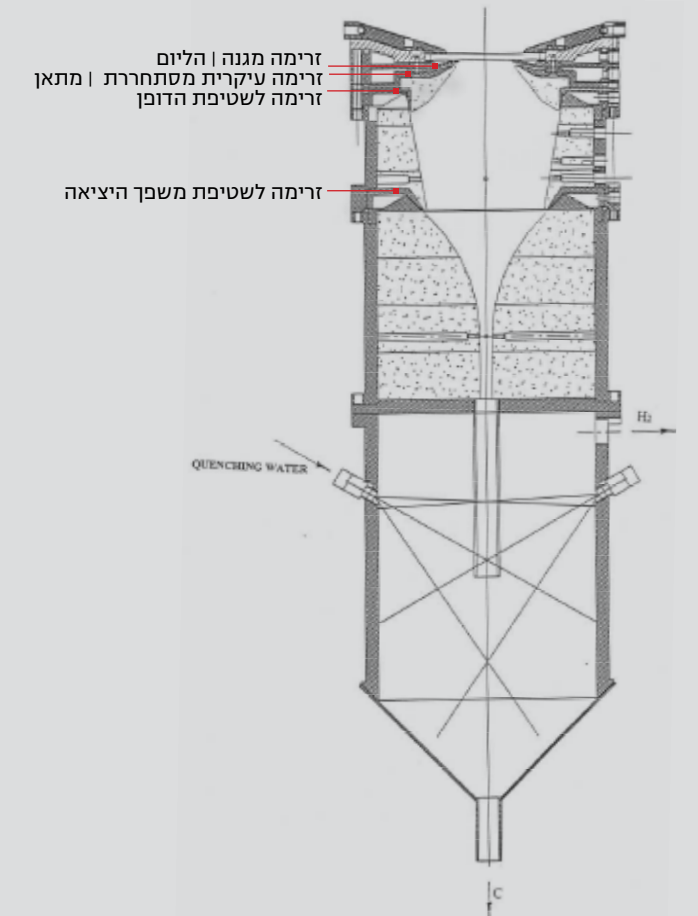
ראקטור C3 ניסויים בחום עם מראה בקוטר 63 ס"מ

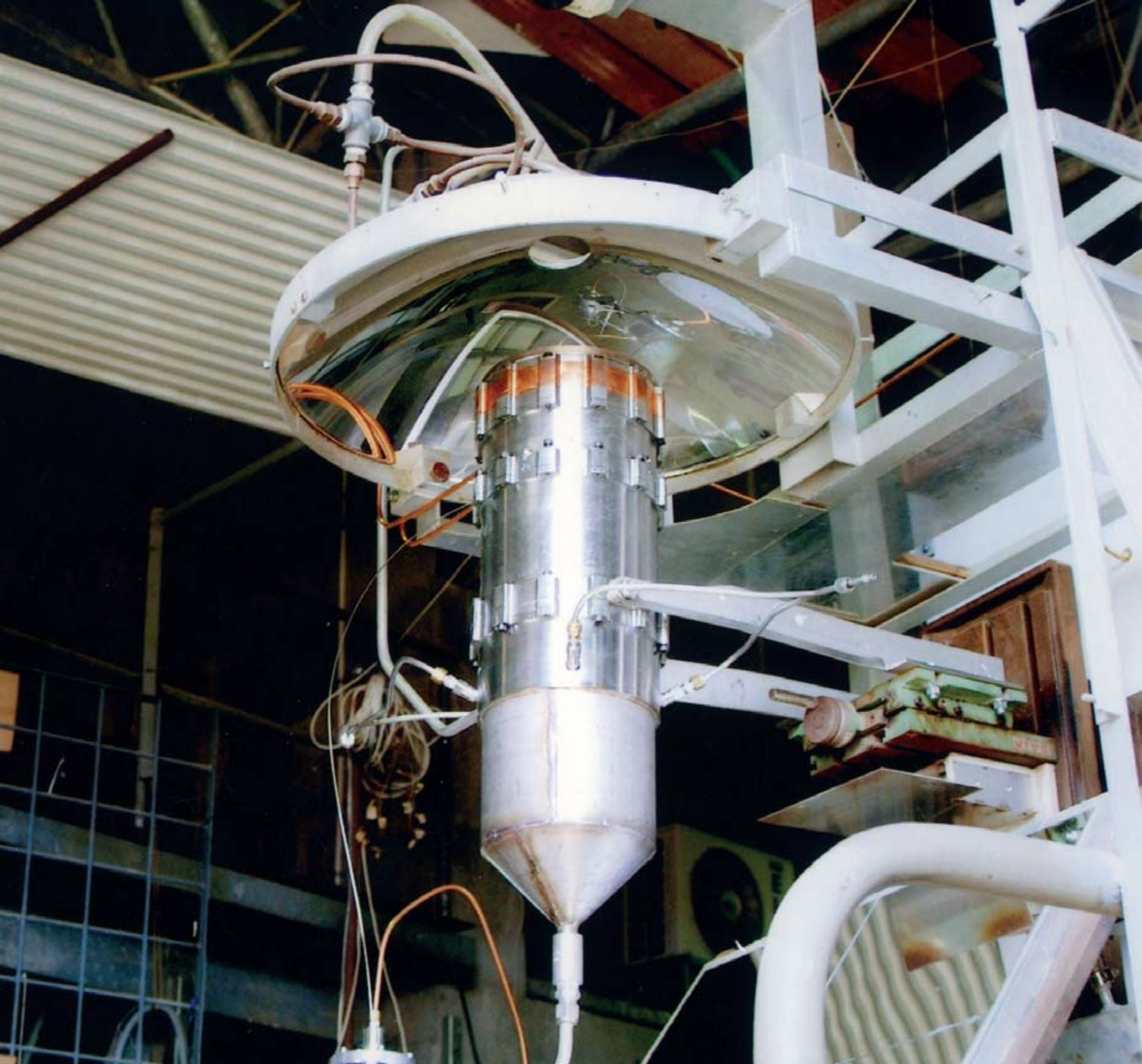
בניסויים אלה נעשה שימוש בראקטור חדש שאבא ושמוליק ברק תכננו. שמוליק הצטרף לעבודה במגדל השמש אחרי שפרש מרפא"ל, ועבד עם אבא משך תשע השנים האחרונות.

החלל של הראקטור מעוצב כ'גוף שחור' עם פתח קטן, דרכו נכנסת הקרינה ובו מוצב חלון הקוורץ. בנוסף לזרימה העיקרית של מתאן והזרימה המגינה של הליום, נוספו שתי זרימות נוספות של חנקן, כדי למנוע שקיעת פיח על הדפנות ועל משפך היציאה של הראקטור.

המראה המרכזת היתה מהסוג ששימש בניסויי פירוק המים. מבחינת הקוטר היא דומה למראה ששימשה בניסויי פירוק המתאן הקודמים. ההבדל הוא שהיא מרכזת יותר ולכן הדמות שהיא מייצרת במישור המוקד קטנה יותר.

בניסויים אלה התברר שצריך להסיט את החלון 15 מ"מ מחוץ למישור המוקד, כדי שהוא ישרוד את צפיפות הקרינה שעוברת דרכו.





בראקטור זה הוספה מערכת לזריית אבקת פיח, כדי לשפר את קליטת החום על ידי המתאן בכל נפח הבראקטור ולא רק ליד הדפנות.

במהלך הניסויים נמצאו הספיקות של הזרמת המתאן שמייצרות טורנדו יציב - מעל 13 ליטר לדקה, והיו ניסויים של יותר משעה ללא נזק לחלון!

בגלל חשש מחימום מוקדם של המתאן לפני כניסתו לחלל הבראקטור - בוצעו שינויים ששיפרו מאוד את קירור חלקי המתכת של הבראקטור. שינויים אלה הגבילו, מן הסתם, את הטמפרטורות המרביות בתוך הבראקטור.

הציפוי המחזיר של המראה המרכזת נמצא לפני הזכוכית (מראה מסוג 'ציפוי קדמי'). מראות כאלה, כשהן חמות, נוטות להתכסות באבק באופן שלא ניתן לנקותן. כשהרפלקטיביות של המראה ירדה מאוד הגיע הזמן לעשות את קפיצת המדרגה הבאה, ועל כך בפרק הבא.



הקונסורציום

בשנת 2005 נוסד שיתוף פעולה בין כמה מדינות לפיתוח תהליך פירוק ישיר של מתאן באנרגית שמש. משך התוכנית - ארבע שנים. ישראל ומכון ויצמן נבחרו להשתתף בקונסורציום בזכות המחקר של אבא.

בשלב זה נדרש להקים ראקטור של 10kw. לשם כך היה צורך לרכז את הקרינה על ידי מראה גדולה. כבר לפני כן מצא אבא הזדמנות לרכוש משבדיה מראה גדולה של זרקור צבאי מעודפי מלחמת העולם. מראה זו היתה מסוג 'ציפוי אחורי' שקל בהרבה לשמור על נקיונה. כעת הגיעה השעה לשרג את המערכת כולה על פי מראה זו.

הראקטור המשודרג, המבנה הנושא אותו ואת המראה, עם המדרגות ומשטחי העבודה בכמה קומות, והמערכת המסועפת של צינורות, מדידים, ומאווררים תוכננו והוקמו כמלאכת מחשבת על ידי שמוליק על פי מפרט של אבא.

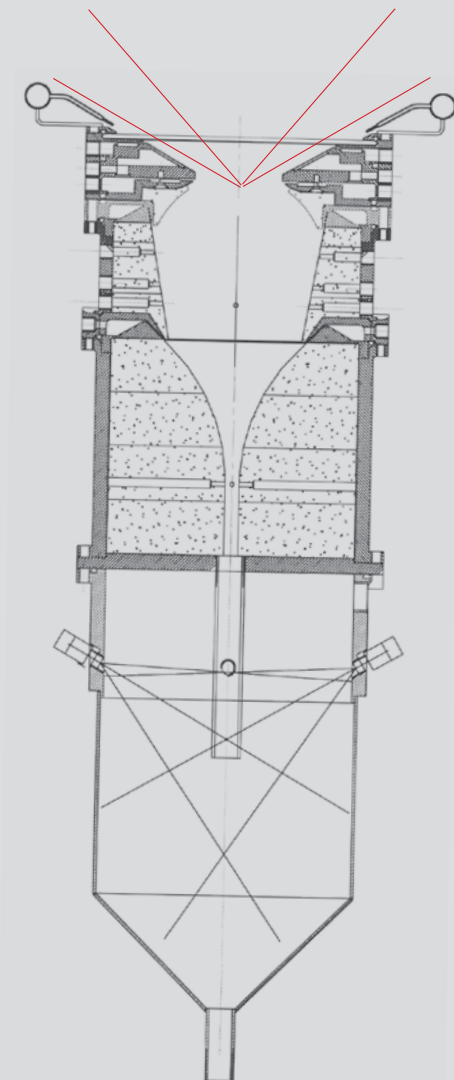
בשלב מסוים התברר שציפוי הכסף של המראה נפגע בחלקו בגלל חשיפה לרטיבות בשלבי האיחסון. מאחר וציפוי הכסף מונע מהקרינה מלחמם את הזכוכית, מקומות בם נפגע הציפוי עלולים להגיע לחימום יתר, מה שהיה עלול להכשיל את המשך הניסויים. אבא החליט שחייבים לטפל בדבר, ולמרות שכבר השאיר את גיל 85 מאחוריו ניגש עם שמוליק במרץ ובסבלנות האופייניים לו ללמוד את נושא הסרת הציפוי הישן וכיסוי הזכוכית בציפוי מחודש, וליתר בטחון - הדבקת צינור נחושת ספירלי על אחורי המראה להבטחת קירור יעיל שלה. אחרי עבודה יסודית ניצבה במרומי הקונסטרוקציה מראה 'כמו חדשה'.



ראקטור SR10 ניסויים בחום עם מראה בקוטר 155 ס"מ

המראה הגדולה יוצרת ריכוז גבוה מאוד של קרינה בחתך המוקד. התברר כבר בניסויים קודמים, שחלון הקוורץ אינו מסוגל לעמוד בקרינה כה מרוכזת (גם ללא זיהום בפיח). כדי לפתור את הבעיה שינה אבא את צורת הראקטור כך שהחלון יהיה גדול בהרבה מגודל הכתם של הקרינה במישור המוקד, והמראה מוצבת כך שמישור המוקד נופל בתוך חלל הראקטור במקום במישור החלון. בצורה זו צפיפות הקרינה בחתך החלון קטנה מזו שבמישור המוקד, מה שמאפשר לחלון לשרוד. מאחר והראקטור לוחט, בטמפרטורה גבוהה מאוד, הרי שהוא בעצמו מקרין החוצה אנרגיה רבה. לכן עוצב חלל הראקטור, בניגוד לחלון, עם מפתח אופטי מינימלי, כגודל הכתם במישור המוקד, כדי למזער את בריחת החום בקרינה.

אמצעי נוסף לשמירת החלון מחימום יתר בוצע בהזרמת אויר קירור על החלון מבחוץ. הותקנו שלושה צינורות ששטפו את שטח החלון. כדי למצוא שילוב טוב של פרמטרים, כגון זווית ומהירות הזרמת אויר הקירור - בוצעו ניסויים ללא חום על חלון שכוסה באבקת טלק. האזורים שנוקו מאבקה העידו על כיסוי תקין של זרימת האויר.



חקירת הזרימה במחשב - גילוי זרימה טורואידלית וחקירת השפעות הטמפרטורה

כדי לחקור את הזרימה בחום, אבא נעזר כבר בשלב קודם של המחקר במשה ישראלי ז"ל, שהיה תלמידו בעבר, ועסק עתה בחישובי CFD (COMPUTERIZED FLUID DYNAMICS) בטכניון. עסקו בכך בשלבים השונים גם עינב, רימון אריאלי ויוליה, יבדלו לחיים ארוכים.

ניתן היה לראות בעזרת אנליזות אלה, שחוץ מהטורנדו נוצרת בראקטור זרימה טורואידלית (ערבול היקפי).

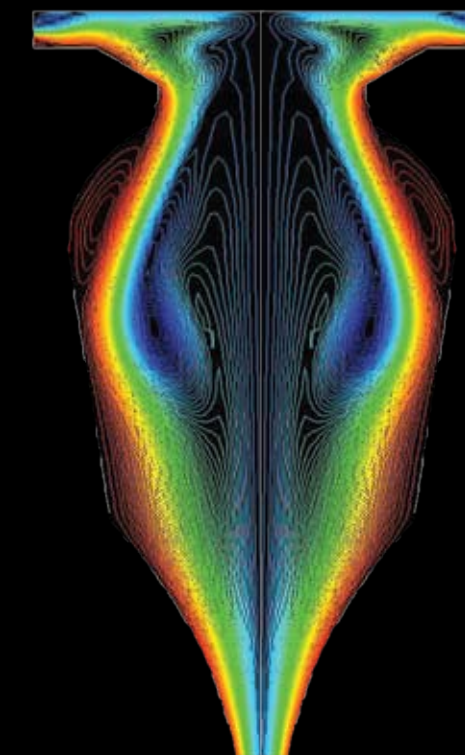
בתנאי זרימה מסוימים הטורנדו דומיננטי והזרימה ליד החלון מגינה עליו יפה. לעומת זאת בתנאים אחרים ישנם קווים, הקשורים לזרימה הטורואידלית, שפורצים אל עבר החלון דרך הזרימה המגינה.

ניתן היה להראות, שככל שהטמפרטורה של המתאן גבוהה יותר המצב טוב יותר, כי צמיגותו עולה משמעותית עם הטמפרטורה והזרימה נהיית למינרית - דבר המחזק את תצורת הטורנדו.

חקירת הזרימה בתצורה החדשה של הראקטור ב CFD

בחקירה על ידי המחשב התברר שחלק ניכר מן הזרימה עובר ליד הדופן. מצב זה אינו רצוי כוון שכך רוב הזרימה עוברת רחוק ממישור המוקד של המראה, שהוא האזור החם ביותר בראקטור. בנוסף, חלק גדול מהמתאן עלול להתפרק על הדופן תוך בניית מבנה פיח קשיח שבסופו של דבר יסתום את הראקטור.

כדי למנוע זאת בוצע חידוד של איזור המפגש בין החלון לחלל העיקרי. ההנחה היא שהזרימה המגיעה מלמעלה לא תצליח לעקוב אחרי הפינה החדה - תתנתק, ותיצור מערבולת שתסחוף את המתאן המגיע מלמטה היישר לאזור החם ביותר.



תרשים אנליזת זרימה בראקטור



הפיח המוצק והמימן הגזי, יוצאים מן הראקטור מעורבבים זה בזה. הפרדת הפיח מהמימן מבוצעת על ידי פילטר. אבא מצא מומחה לייצור פילטרים שבנה פילטר מיוחד, לפי דרישה, כולל סידור למכת לחץ הפוכה (בדומה לחובט שטיחים המכה מאחור על מנת לשחרר סתימות).

בשלב הראשון הוכנס גז המתאן לראקטור קרוב לחלון, כמו בניסויים הקודמים, בהנחה שאזור החלון קר ולא ייוצר פיח במקום. אולם התברר שהדופן הקונית בכניסה לראקטור חמה מאוד וקשה למנוע היווצרות פיח עליה.

הפתרון הראשון היה החלפת הדופן הקונית, שהיתה עשויה מחומר קרמי, לדופן מתכת, מקוררת במים הזורמים בתוך מעברים פנימיים. הדופן המקוררת אכן לא גרמה לפירוק המתאן על פניה והבעיה הזו נפתרה. אלא שכאן נוצרה בעיה חדשה - הקרינה המרוכזת שפגעה בדופן הקונית גרמה להמסת המתכת ופריצת מי קירור לתוך הראקטור.

הדופן נמסה, כנראה בשל אפקט ידוע המוכר גם מרתיחת מי קירור של רדיאטורים בכלי רכב. כאשר מי הקירור אינם מספיקים לספוג מהמתכת את כל כמות החום הנדרשת, הם מתחממים עד לנקודת הרתיחה, ונוצרת במים שכבת אדים גזית בצמוד לדופן הלוהטת. האדים אינם מעבירים חום בצורה יעילה, תהליך הקירור נפסק והמתכת נמסה.

הפתרון היה חזרה לדופן קונית קרמית, והעברת כניסת המתאן אל מתחת למפתח האופטי. הנפח שבין החלון למפתח האופטי נשטף בחנקן שהוזרם גם הוא, כמו המתאן, בכיוון טנגנציאלי כדי לדרבן את אפקט הטורנדו. הזרמת שכבת ההגנה רדיאלית של הליום בצמוד לחלון נשארה כמקודם.



הפילטר המיוחד

ניסויים ללא כשל חלון ייצור פולרינים

בניסוי שנערך בחורף האחרון (פברואר 2009) היתה סוף סוף הצלחה מרשימה.

הטמפרטורה בראקטור הגיעה לכ 1800°C .

החלון נשאר נקי במשך כל הניסוי.

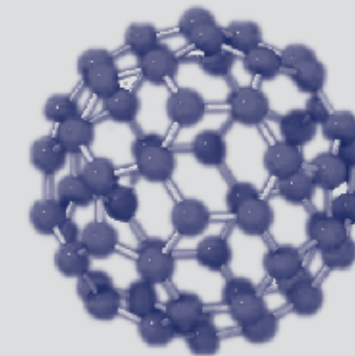
המתאן בכל חלל הראקטור התפרק למימן ולפח (ולא רק ליד הדפנות החמות).

ניתן היה לראות בעין - דרך מראה מיוחדת ומשקפיים כהות - את הפיח המתערבל בתוך הראקטור.

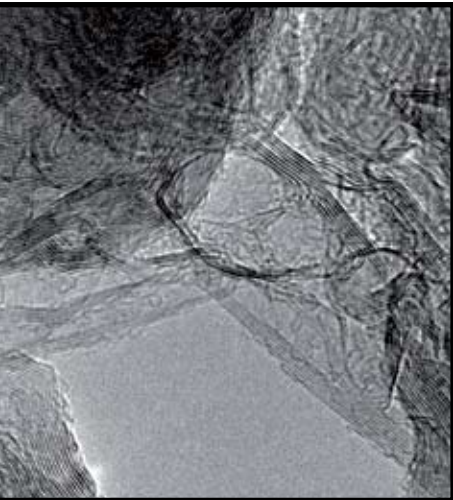
מדידות ה GC (GAS CHROMATOGRAPH) הראו פירוק מלא של המתאן.

בפיח שנמצא בפילטר לאחר הניסוי נמצאו צורות של ננורחלקיקים כולל פולרינים.

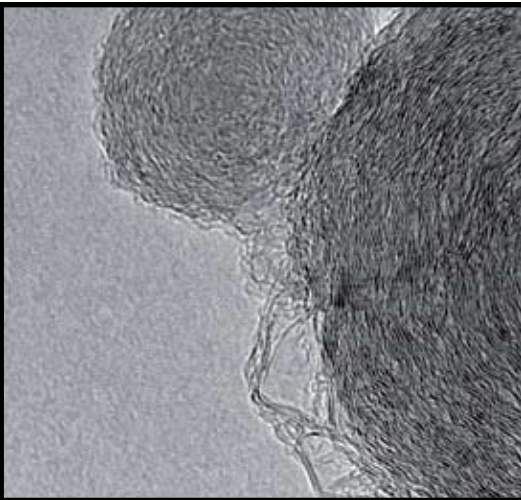
לפולרינים תכונות פיזיקליות מיוחדות במינן. למשל יציבות גבוהה, חוזק גבוה מאד, ומוליכות חשמלית יוצאת דופן. בזכות תכונות אלה נעשו מולקולות הפולרין על צורותיהן השונות מועמדות רציניות לשמש כאבני בנין למוצרים שונים של הננוטכנולוגיה העתידית.



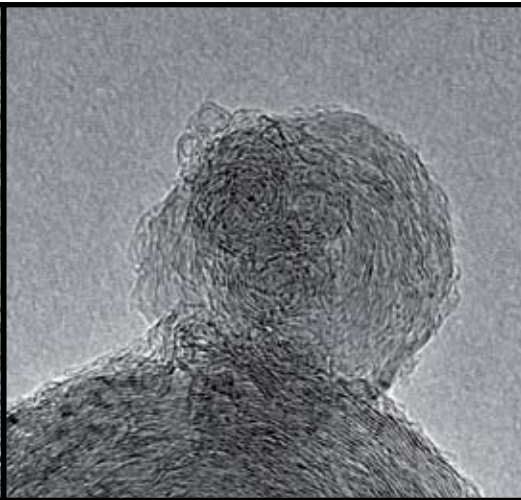
מולקולת הפולרין הנפוצה בנויה מ 60 אטומי פחמן בצורה של כדור חלול מדויק. הכדור עשוי, כמו כדורגל, מקבוצות אטומי פחמן מחומשות שמוקפות בקבוצות משושות. צורה זו של סידור אטומי הפחמן התגלתה לראשונה בשנות השמונים. עד אז הצורות המסודרות של אטומי פחמן שהיו מוכרות הן הגרפיט והיהלום. הפולרינים יכולים להתקבל בגדלים יותר גדולים וגם בצורה מוארכת - אז הם נקראים ננו צינוריות. הפולרינים נוצרים בהתגבשות אטומי פחמן בטמפרטורות גבוהות מאוד.



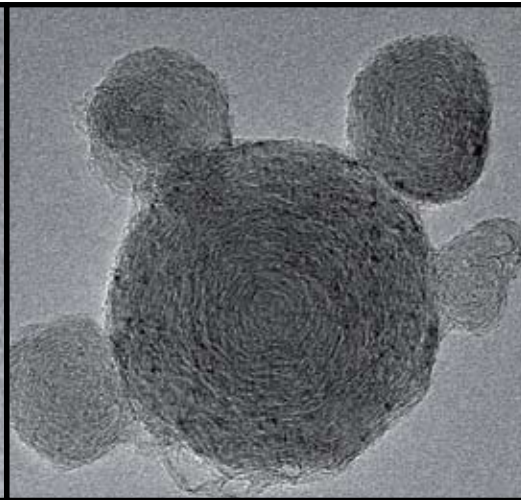
1:1,000,000



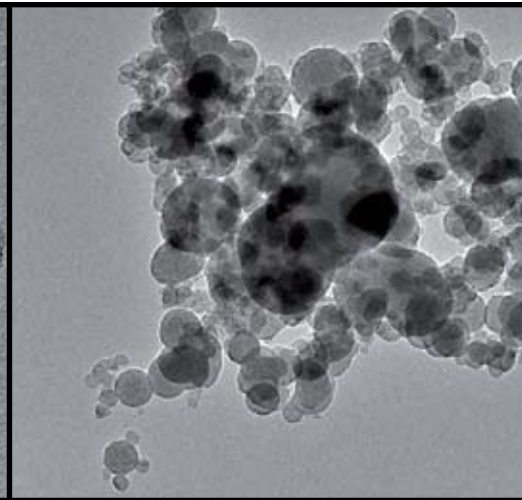
1:1,000,000



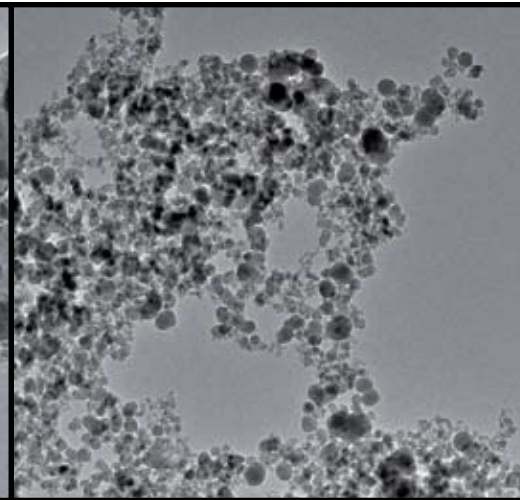
1:1,000,000



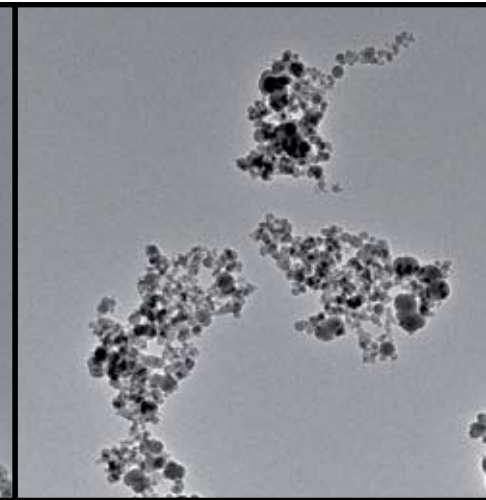
1:500,000



1:50,000



1:10,000



1:10,000

6



מן המיצר לנקרת הצור

על קרקע מתנודדת

אותה שנה הייתי סטודנט קורס א' למתמטיקה ופיזיקה באוניברסיטת צ'רנוביץ. האזור היה בשנה ההיא תחת הרוסים. זאת היתה שנה תוססת מאוד מבחינה חברתית והיו לי חברים רבים, יהודים. הכרתי גם את הרומנים והאוקראינים שלמדו שם, אלו אחרי המהפך, נעלמו.

בחופשת החורף (תחילת 41') נסעתי הביתה לקישינוב למשך שבועות אחדים. אז ראיתי איך הם החיים תחת הרוסים. אבא חבש קסקט, כבר לא הכובע הרגיל, הבגד דהוי מעט. כעת היתה לנו פרה בחצר, על ידי כך היה מעט חלב. אחד המחסנים שימש כרפת.

זמן קצר קודם לכן היתה רעידת אדמה גדולה באזור. ברחוב הסמוך היו בנינים בנויים שתיים ושלוש קומות, וקטעים שלמים נפלו מהקיר הקדמי, יכולת לראות את פנים הבית, גם את התמונות. אבי ידע לתקן בתים, ונרשם בעירייה כמתקן ארובות. לכן ביקשתי מאבא אם יוכל לקבל עבורי תעודה שמעידה שזה עיסוקו. את התעודה הבאתי לטוכימנקו, הפוליטרוק הקומוניסטי באוניברסיטה, וראיתי שפניו אורו. להיות בנו של מתקן ארובות היה נחשב מכובד. אילו ידעו שאני שייך למשפחה שבעבר לפני המהפכה היתה אמידה, היו שולחים אותי לטיביר.

היתה מועקה, הרגשתי שאני על קרקע מתנודדת.



הוריו מאיר ורבקה עם שלושת ילדיהם הגדולים: אסתר, אליהו ודוד ההורים, אחיו דוד, אחיותיו פנינה ומנוחה ורבים מבני המשפחה המורחבת נספו בשואה הי"ד

כמו ילק, כמו ארבה

המלחמה פרצה אצלנו בפתאומיות. בבוקר יום ראשון הגעתי מוקדם למגורי הסטודנטים, לאסוף עוד כמה חברה'ה וללכת ללימודים באוניברסיטה, ופתאום שמענו ברדיו את מולוטוב מכריז שהנה הלילה פרצו הגרמנים. הייתי בטוח שאם הם פרצו יפרצו אליהם, הרי כך השמיעו באוזנינו הרוסים השכם והערב. אבל תוך חמישה או ששה ימים כבר היו הגרמנים בצ'רנוביץ. המחשבה הראשונה היתה לחזור הביתה לקשינוב. נדברתי עם חברי ללימודים אלכס שהגיע גם הוא מקשינוב, והחלטנו שאנחנו נוסעים. לו היה רוגזאג, לי היתה איזו מזודה, נעלה על הרכבת וניסע. ירדנו לכונן הרכבת, וראינו שהכול כבר הפוך, כולם רצים לכל הכוונים, מתעניינים מתי... איפה יש רכבת?! הפציצו והרסו את הגשר על הפרוט, כבר אין מעבר לרכבות. אם כך, אמרנו, ניקח אופניים וניסע. התחלנו לברר איך בדיוק נוסעים, ובמקום הסבר הזהירו אותנו: 'לאן אתם הולכים!? השמועות אומרות שהאיכרים תופסים וגוררים את האנשים בדרכים... אין לכם לאן ללכת.' ראינו את המצב וחזרנו. היו הפצצות, קולות וברקים. ביום האחרון בערב ראיתי טנק ובו חיילים רוסים, לגמרי שיכורים, והם שרים שירים. הצבא הרוסי כבר נסוג, ואת אלו השאירו, שיכרו אותם בוודקה כדי שאולי יעצרו במשהו את הגרמנים עד שהאחרים יברחו. אחר כך ראינו את הגרמנים נכנסים. זה היה כמו ילק, כמו ארבה.



פנקס הלימודים שעשה דרכו מצ'רנוביץ לירושלים

גשר פונטוני

תכף אחרי הצבא נכנסו יחידות אס־אס, וכבר עם הכניסה הראשונה תפסו כמה מאות יהודים, והכריזו עליהם כעל בני ערובה. לקחו את הרב הראשי של צ'רנוביץ, את הרופאים, את עורכי הדין, את המהנדסים, כל מי שיכול לארגן התנגדות, ואמרו שאם יקרה משהו, את אלו יהרגו. בלי קשר לכל מה שקרה, הם הרגו אותם ושרפו את בית הכנסת הראשי. חדשות לבקרים היו מופיעות הודעות: אם תעשה כך - יירו בך, אם תעשה אחרת - יירו בך.

היה חורבן על הגשר ובאזור הרכבת, והגרמנים היו מעוניינים לבנות מיד את כל המעברים, כדי לשלח את הצבא הלאה, מזרחה.

על הקירות הודבקו מודעות: על אנשים בגיל שמונה עשר עד ארבעים ושמונה להתייצב וללכת לנהר, בכדי להקים את הגשר על הפרוט, שהושמד על ידי הרוסים תוך כדי נסיגה. מהנדסים שהגיעו עם הצבא תכננו גשר פונטוני, גשר של סירות: קושרים סירות אחת עם השנייה, ומניחים על גביהן לוחות שתי וערב, כך שמכוניות וטנקים יוכלו לעבור. לקחו את כל האוכלוסיה היהודית לצורך העבודה הזו. שימשנו כסבלים להעברת משאות ענק: צינורות מים בקוטר של מטר וחצי, שאורכם ששה עשר מטר. משא כזה מרימים ארבעים איש, עשרים מצד אחד, עשרים מצד שני. איכשהו תוקעים מתחת לצינור מוטות, כל אחד מחזיק, ולפי קריאת החייל כולם בבת אחת נותנים מאמץ, מרימים והולכים. יוצא שכל אחד מרים כחמישים קילו. צריכים כולם ללכת בצעד אחיד, עד שהחייל נותן שוב סימן, וכולם מורידים את המשא. כך הלכנו. באחת הפעמים כשכבר הגענו לקצה השני הורידו כל יתר האנשים את הצינור קצת

לפני, וכל משקל הצינור ירד לי על כף הרגל. הרגל נשברה וכבר לא יכולתי ללכת. הבנתי שזה יכול להיות הסוף, מכיון ששמענו כבר מה הולך. כבר היה די ברור שאם שברת רגל אינך נצרך ואפשר פשוט לירות בך. אבל הקצין, כשראה שנפצתי, נתן פקודה לקחת אותי הצידה, כנראה שהיה בן אדם. הוא ניגש לבוטקה, שם היה להם משרד קטן, וכתב על נייר רשמי עם סמל של הנאצים שהיהודי אברהם כוגן נפצע בזמן העבודה, ונתן פקודה ששניים מהחברים יביאו אותי הביתה. הגעתי לדירה של אחותי וגיסי, אצלם גרתי בתקופת הלימודים. עברתי כמה שבועות, ללא רופא וללא טיפול, והיתה סכנה שיחפשו אותי, וימצאו שאני פצוע. לכן, ברגע שיכולתי לקחת מקל ואיכשהו לזוז, הייתי קם שעתיים לפני שאנשים צריכים היו להתייצב, ויוצא ליער. הייתי עולה ליד האוניברסיטה, הכרתי שם את הגבעה, את היער שפעם היינו מטיילים בו וכעת היה ריק, יושב שם עם ספר וקורא. פעם שמעתי יריות בסביבה, ונודע לי שבקרבת מקום היו מחסלים אנשים.

אחר כך הקימו גטו בצ'רנוביץ. הקצו רובע צר מאוד, שלושה - ארבעה רחובות שתי וערב בקצה התחתון של העיר. הדירה של הדוד אהרון, בקומה הרביעית של בנין, היתה בתוך שטח הגטו, לכן באופן טבעי הצטופפנו כולנו בבית ההוא. הדירה של אחותי אסתר ובעלה יהודה היתה רחוקה, מהלך כמה קילומטר משם. הקציבו רק יום אחד, עשרים וארבע שעות, להסתלק מכל המקומות לתוך הגטו. כל אותו היום הלכו אנשים הלוך ושוב. סחבו עגלות עם פרדות, מי שהיו לו מריצה או אופניים, והעבירו מה שאפשר, כי אחרת... מה היה שם בתוך הגטו. לא ידעו מה לקחת ומה לא לקחת, וכמה אתה יכול לקחת בסך הכול... מיד למחרת הודיעו: 'מי שימצא מחוץ לגטו בלי רשיון - ייָה'.

משך שבועיים רחש הגטו שמועות. שמענו שסטאלין מרוקן הכול מזרחה, ומשאיר אדמה חרוכה. רוצים כנראה להעביר לשם את היהודים. שמענו שרוצים להעביר יהודים אל מעבר לדניסטר, למקומות שנכבשו על ידי הגרמנים, שם הכול היה חרב. הגרמנים הפיצו שמועות שהם מתכננים חינוך מחודש ליהודים כדי 'שיהיו פרודוקטיביים', שיעסקו שם בחקלאות, ומי שיגיע בין הראשונים ימצא לו כביכול בית שלא נהרס עדיין... אחר כך התחילו להופיע פלקטים: 'מחר בבוקר על כל יהודי להתייצב ברחוב עם מזוודה אחת בלבד, עליו למסור את כל כלי הכסף והזהב וכן כל כסף מזומן שנמצא ברשותו', ושעומדים לנסוע. לא אמרו לאן ועשיתי חשבון שאין לי מה למהר לשם. זה היה אחרי שמחת תורה, לפני החורף, והחלטתי שאני אמשוך כמה שאפשר. אם הודיעו שצריך להתייצב ברחוב הזה, ומחר ובעוד שבוע יהיה רחוב אחר, אז אני עובר לרחוב השני ולרחוב השלישי. בעיר הזו, צ'רנוביץ, היו יותר יהודים מנוצרים, הצפיפות היתה רבה, והיינו גרים בעליות הגג. אני הייתי רווק, עוד איכשהו עברתי מגג לגג. אבל אחותי אסתר ובעלה יהודה אמרו: מה הבררה? אם לא מתייצבים - יורים. הם התייצבו ושולחו לארץ גֵּרָה.

אני זוכר את הלילה לפני הנסיעה הזו. יהודה ואסתר היו צריכים לנסוע, היתה אתנו גם בת דודה, פוליה. גם עליה נגזר להישלח. לפוליה היו דברי ערך, והיתה מודאגת איך תסתיר אותם, ומה תצליח לקחת כצידה לדרך. הצעתי לעזור לתכנן מחבואים לחפצים שלה. ישבנו שעות, כל אותו הלילה, כל אחד במלאכתו. היא הוציאה מתוך הקלימיקל שלה יהלומים ומטבעות זהב, ואת כל אלו צריך היה להצפין. חציתי קובית סבון, בפנים חצבתי בית קטן, הכנסתי אחד החפצים, הדבקתי והחזרתי את העטיפה. אחר כך הכנתי מחבוא מחוט מלופף. עם הדברים האלה היא נסעה. הגיע הבוקר, לקחו את כולם לרכבת ומשם לטרנסניסטריה.

מאז לא פגש אבא את אסתר ויהודה אלא כעבור עשרים שנה, כשעלו לארץ ישראל. לאורך כל שנות המלחמה דאג להם ועשה למענם, אבל רק כעבור זמן נודע לו שנותרו בין החיים. בתענית אסתר, יום השנה לפטירתה של הדודה אסתר, אמר לנו שראוי לקרוא את הספר 'הכפור הלוהט' של ההסטוריון אביגדור שחם, שהיה אף הוא מן הבודדים ששרדו את האדמה החרוכה של טרנסניסטריה. מי שיקרא, אמר, ידע להעריך אילו אנשי מעלה היו, שעברו בכבשן האש הזה ונשארו יהודים חמים וטובי לב.

מיד אחרי כן הגיעו ידיעות שבטרנסניסטריה אנשים מתים מקור, מתים מרעב, יורים בהם.

כעבור זמן קצר, אולי שבוע או שבועיים, נוצר קשר באמצעות אישה גויה, שהיתה לה אפשרות מעבר. הכול היה כעת אזור צבאי, והיה דרוש 'פרופוס', תעודה שמתירה לחזור מעבר לגבול הקודם. אם הצליחה לעבור ידיעה משם, או אם עברו כספים מכאן לשם, זו היתה הצלת נפשות. הכינו רשימות... דוד אהרון ארגן מפעל הצלה בביתו. הנה פלוני יש לו כסף והוא רוצה לעזור לאביו, וזה לגיסו, וזה לבנו; מי שהיתה לו אפשרות לעזור... היו רשימות מה שלחו למי, ואותה גויה צריכה היתה להחזיר אישור בחתימת ידם של האנשים או כמה מלים שכתבו בעברית,

כדי שיהיה ודאי שקיבלו את הכסף שנשלח, ואז ישלחו דרכה משלוח נוסף. דוד אהרון שאל אם אוכל גם אני לעזור. היתה כאן אפשרות, ואני הבנתי שאם אני לא אעשה דבר להציל את אחותי היא תוך כמה ימים לא תהיה. מה שהיה לי, מה שנשאר ממה שקיבלתי כמלגה בתור סטודנט - שלחתי.

לא היו בידי עוד כסף או חפצים, אבל קיוויתי שבדירה שלה, שם חיינו עד המעבר לגטו, נותר רכוש שניתן להמיר בכסף. ביום המעבר לגטו, תוך עשרים וארבע שעות הצלחנו להעביר רק שק קמח תירס ובגדים. החלטתי להסתכן. לפנות ערב יצאתי מהגטו והלכתי מרחק שלושה קילומטרים למקום שבו גרנו. היה לי המפתח, אבל לא ידעתי אם גרים בדירה או שהיא ריקה. את הדירה קיבלה אחותי כנדוניה מסבא שלנו, גם כל הדירות האחרות בבנין היו של יהודים. הגעתי לשם. כעת היה כתוב על הדלתות: 'הוחרם', 'אין כניסה', כלומר נלקח על ידי הרשויות ו'כל מי שיפרוץ פנימה - יירה'. בעדינות הורדתי מהמשקוף חלק מהנייר בלי לקרוע אותו, פתחתי ונכנסתי פנימה. היו לי חבל ושק ומילאתי כל מה שמצאתי בעל ערך: כפות, סכו"ם של כסף, שעון. כשחזרתי כבר היה בין הערביים, עוצר. מרחוק ראיתי חייל גרמני מפטרל הלך ושוב. ידעתי שאם יבחין בי... ואיכשהו חמקתי הצידה.

אברום מאיר

כעבור כמה שבועות, אחרי שרוב האוכלוסיה נשלחה לטרנסניסטריה, השתנתה המדיניות. צ'רנוביץ, בניגוד לקישינב, היתה עיר תעשיתית. היתה שם תעשייה מפותחת של כריתת עצים מההרים, עיבודם והעברתם למדינות אחרות. לו היו מעבירים בבת אחת את כל היהודים מהגטו לטרנסניסטריה, התעשיות היו מתמוטטות. ראש העיר הרומני פופוביץ היה מעונין, כך הבנו, שהתעשייה של העיר לא תיפגע. הוא ניסה לכן להפעיל את הסמכות שלו, כדי שיתנו תעודות שהייה ארעית ליהודים שהיו בעמדות מפתח. הללו יוכלו לאמן, משך כמה חודשים, ממלא מקום גוי, ואז ישלחו את היהודים. מי שיכול היה להשיג 'תעודת פופוביץ' היה כביכול מאחר את גזר הדין. הדוד אהרון שהיה סוחר בעצים, קיבל רישיון כזה עבור משפחתו.

בקומת הקרקע של הבנין היה גר קומיסר של המשטרה, שהיה שיכור גדול. הדוד הכיר אותו, נתן לו כסף כדי שישתוק, והוסיפו לתעודה גם אותי. אבל הרי יש לו לדוד אהרון בן ששמו כשמי. אמר הדוד אהרון, הוא אברהם יהושע השיל ואתה תהיה אברום מאיר. הגוי היה יושב על הפתח, וכשהייתי עובר למטה היה מסתכל עלי, כאילו אומר 'אתה לא אמור להיות כאן'. בכל שבוע היה בא ומקבל את דמי השתיקה. בצורה זו נשארתי בגטו.

זוג מספריים

בתוך הגטו התחילו מחשבות. מה הולך להיות היה לגמרי מעורפל. לא ידענו שהולכת להיות השמדה, לא ידענו שהם מפעילים תאי גזים, אף אחד לא העלה על דעתו אפשרות כזו. אבל שתהיה מלחמה ארוכה ועקובה מדם ושיהיו בה אינספור חללים, זה היה ברור.

צריך היה לחשוב איך שורדים בתנאים האלה. החברים מצ'רנוביץ באו למחנות מביתם, מצוידים במזוודה ובה בגדים נוספים. אני הייתי הרחק מבית הורי כבר חודשים רבים, היה לי זוג נעליים אחד וזהו זה. צריך היה להתכונן לבאות, להיות מסוגל להרוויח משהו, אם בכלל יתנו זמן להרוויח. אולי הכי פשוט, חשבתי, יהיה להתנסות בחייטות. לדוד אהרון היה מכר, יהודי מאוד סימפטי, שהיה חייט מקצועי. משך שבועיים הייתי מגיע אליו בערבים והוא לימד אותי לתפור. זה מצא חן בעיני, כבר ידעתי איך מחזיקים מחט בצורה נכונה, ידעתי ליצור חתך בבגד ולתפור גימור ללולאה. ואז ערב אחד הגעתי והוא כבר לא היה, לקחו אותו. שיעורי החייטות הגיעו לקיצם, אבל ראיתי שזה 'לא בשמיים', וחשבתי שטוב אם אקנה לעצמי זוג מספריים, ומה שזכרתי מהבית - שצריך גם מחטים ואצבעון, קצת חוטים, לבן, שחור. הכנתי לי שקית, ו...נראה.

החייט היה גם בעל חכמת חיים. ממנו למד אבא כלל של חייטים: 'מוודדים פעמיים, גוזרים פעם אחת.' כלל זה היה מיישם תמיד.

מחנה ראשון

כעבור זמן קצר התחילו להוציא מתוך הגטו את המסוגלים לעבודה. קראו לנו למרכז צבאי ממשלתי, והודיעו שמארגנים משלוח ל'עבודה לצורכי ציבור', אלה היו בעצם מחנות עבודת פרך. הייתי בשלושה כאלה. הראשון היה במולדובה, זה היה בסתיו (42'-41'). ארגנו מחנה ובו ארבע מאות איש ושלחו אותנו לכוון הקרפאטים, למקום שנקרא פלששט. בתוך גבולות רומניה הישנה, במולדובה שלא כמו בבסרביה, ישבו עדיין היהודים במקומם, עוד לא סגרו עליהם את הגטו, והם עזרו לנו. נניח אם לפני שבת יכולתי לשלם משהו לחייל הרומני שיתן לי לצאת מהמחנה, יכולתי להתארח בערב שבת אצל משפחה של יהודים. במחנה פלששט הועסקנו בסלילת קטע כביש. סללנו בארבעה חודשים רק שלוש מאות מטר, כי הכול היה עבודת ידיים. לא היו לנו מכונות, היו רק מריצות, וצריך היה לגשת להטעין אותן עם חול או עם חצץ, להביא, למלא, לישר... עד היום כשאני רואה טרקטורים סוללים כביש, זה עושה לי טוב. איך מרימים בשופל אחד, מה שאני הייתי צריך למלא שם משך יום שלם, קוב או שניים.

הוצאנו את החול מההר, אבל לא היינו מומחים גדולים. חפרנו, עד שיום אחד חלק מההר גלש, ונוצרה מפולת. חבר שלי, פרדי נחמן, נקבר עד צוואר. הוצאנו אותו עם רגל שבורה, והוא נשלח לבית החולים. זה היה עוד תחת הרומנים; הגרמנים היו במקרה כזה הורגים אותו.

בשלב מסוים נתנו לי לעבוד על יד 'מייסטר', גוי שידע לבנות גשר עץ, באופן שיהיה חזק מאוד. בעזרת גרזן יישר קורות עץ, התאים ביניהן וחיבר אותן אחת לשניה. התבוננתי בשיטת העבודה שלו, ועזרתי על ידו בבניית הגשר.

שלוש שעות ותספורת

במחנה זה צריך הייתי להתחיל להרוויח, כדי שתהיה לי פרוטה מצויה, וגם לקראת אפשרות שישלח שוב סיוע ואוכל לעזור לאחותי. הגעתי עם האינסטרומנטים שלי, עם המחט והחוטים, אבל בינתיים עברו רק חודשים אחדים, עוד לא הכול התבלה, ואיש אינו צריך שאתקן ואתפור. לכן, שם עלה רעיון חדש: אם לא חייט, אולי עם אותן מספריים אפשר להיות ספר. בתחילה התבדחנו, עד שהשמועה עברה בין החברים שאני יודע לספר. היה אתנו גם ספר מקצועי בעל ניסיון, אבל מדי פעם תוך כדי תספורת רעדה לו היד... היו בינינו בחורים צעירים מהגימנסיה, שהיתה להם יראת כבוד כלפינו כסטודנטים. ניגש אלי אחד מהם, נער רזה וצנוע, וביקש אם אהיה מוכן לספר אותו. טוב, אמרתי, בבקשה! הושבתי אותו, הנחתי מגבת, התחלתי לעבוד, ואני רואה שמה שאני לא עושה נוצרת מדרגה, אני מתגבר עליה, נוצרת מדרגה חדשה. סבלנות היתה לי, ולו - לא היתה בררה. 'עבדתי' עליו שלוש שעות, עד שהתספורת נראתה פחות או יותר בסדר. יחסים טובים היו לי עם כולם, גם עם הספר ההוא, ולו לא היה איכפת שגם אני אעסוק במקצוע, הרי היו שם ארבע מאות איש. יום אחד אמר לי: 'כוגן, מה דעתך שביום ראשון אני אספר אותך ואתה תספר אותי?' הבנתי שכבר עברתי את הבחינה, מכירים בי כספר. מאוחר יותר, במחנה הבא, פקד עלי קצין בכיר שהיה מפקח עלינו שאספר אותו. זה כבר היה מסוכן, אבל עברתי את זה איכשהו בשלום.

עם סיום העבודה במחנה החזירו אותנו לצ'רנוביץ למשך שבועות אחדים, עד שיתארגן המחנה הבא. בינתיים העברתי קצת כסף לאסתר, מה שחשכתי שם, והתחלתי ללמד שיעורים פרטיים בגטו. לילדים לא היה בית ספר. ביקשו ממני שאלמד אותם עברית, קרוא וכתוב. היה שם ילד שובב בשם קטשקה. קטשקה פירושו באוקראינית ציפור קטנה, והייתי מלמד אותו סיפורים על ציפורים. הוא הגיע ארצה, ראיתי אותו גם פה. כך הרווחתי מעט גם משיעורים פרטיים.

מחנה שני

בינתיים כבר התארגן משלוח שני, גדול יותר, והפעם שלחו אותנו לבסרביה, דרומה לקישינוב. זה היה החורף של '42, רשום אצלי. ישנה אצלי התעודה מהמחנות האלה. עברנו אז, כל המגויסים לעבודה, עם הרכבת דרך קישינוב. כל השטח היה מכוסה בלבן. בקישינוב עצרה הרכבת, כנראה על מנת להוסיף מים לדוד. לא ירדנו, אבל יכולתי לדבר עם אנשים שעברו שם בסביבה. שאלתי אם יש עוד יהודים. אז עוד לא ידעתי מה קרה שם. אמרו לי: 'יהודים? - לא נשאר אף אחד.' הם הצביעו עם האצבע, 'הנה פה היער, שם הרגו ארבע מאות, ופה הרגו...' ראיתי שלא נותר איש.

הרכבת המשיכה לדרום בסרביה, לאלכסנדרובסק. באמצע הלילה הגענו, הרכב שהביא אותנו עזר, ואמרו 'הנה, כאן המחנה שלכם.' הבטנו החוצה, לא רואים דבר, הכול מכוסה שלג. שמונה מדרגות הובילו לביתן חפור באדמה. שטח של חמישה על חמישה עשר מטר. משני הצדדים נקשרו בצפיפות דרגשים אחד לשני, ובאמצע מעבר צר.

העבידו אותנו במכרה. הטילו עלינו להוציא כל יום מן האדמה שתי קוביות אבנים בנות מטר קוב כל אחת, זאת היתה המכסה. עבדנו שם משך תשעה חודשים. שמרו עלינו גרמנים שהועברו לבסרביה במאה הקודמת.

המחנה הקיף שלושה ביתנים תת קרקעיים, הגג סמוך לאדמה, ושלג לבן מכסה הכול. היינו יוצאים מתחת לאדמה, והולכים מרחק כמה קילומטרים עד מקום העבודה. אילו רציתי לברוח מהמשמר יכולתי לברוח, אף אחד לא היה שם לב. אבל לא היה לאן לברוח. החזית היתה אז במרחק אלף או אלף וחמש מאות קילומטרים מאתנו וכל הסביבה היתה עוינת. במקום הראשון שאליו הייתי מגיע לחפש פת לחם היו מוסרים אותי לז'נדרמריה והיו יורים.

בזמן משפט הצורר דמיניוק, עלה אבא לירושלים לבניני האומה, והיה נוכח בעת השמעת העדויות. לעת ערב הגיע לביתנו והעלה מעט זכרונות. שאלנו: 'אבא, למה לא ברכת כבר קודם?' 'אני רואה שאתם בכלל לא מבינים' אמר, ואז לראשונה שמענו: 'הייתי לבוש בגדי פסים, הראש מגולח, לרגלי נעלי עץ. אילו יצאתי מחוץ לגדר, אלף קילומטר רדיוס סביב, האיכר הראשון שהייתי פוגש היה דמיניוק כזה. לא היה לאן לברוח.'

ניסינו לעקוב אחרי כל קטע של עתון ישן שיכולנו למצוא ואיכשהו לשחזר לעצמנו היכן החזית נמצאת ואיך היא מתקדמת. מה הסיכוי, אם יש עוד סיכוי לצאת מזה.

גם כאן סללו כבישים, ולשם כך צריכים היינו לחצוב אבנים מהקיר. שם למדתי איך מוציאים אבנים מקיר, זה לא פשוט. כשהגתני ארצה וראיתי את האבנים המפוזרות על האדמה, קנאתי... כמה עבודה וכמה מסוכן, להוציא את האבנים שם בבסראביה. יכולה להיות שכבה של אבן ואחר כך עומק שני מטר חול או אדמה שחורה ואחר כך שוב אבן. האבן העליונה לא מספקת, רוצים את האבן התחתונה, אבל אם תוציא יותר מדי הקיר יתמוטט. לכן צריך היה ללמוד איך עושים את זה.



'תעודת עובד כפיה' ו'תעודת זהות' נושאת מגן דוד צהוב מתקופת הגטו והמחנות

מטר קוב ועוד שלישי

הנוגש שלנו, גוי גבוה מאוד, היה מהלך עם מקל ובגד ארוך תלוי עליו. בסוף כל יום היה מודד בעזרת המקל את כמות האבנים שחצבנו. שני בחורים צריכים היו להעמיד שתי קוביות של מטר קוב אבן, זו היתה המכסה. המקל שימש כסרגל, והוא היה מודד אתו אורך, רוחב וגובה. אם זה לא הספיק צריך היה להוסיף עוד אבנים. בדקנו לפי שיברים והערכנו שהמקל יותר דומה למטר ועשרה סנטימטרים מאשר למטר. חישבנו בכמה הוא מרמה אותנו כשהוא אומר שזה מטר.

צריך לחשב קוביה של 1.1 על 1.1 מטר ולראות בכמה זה יותר מאשר אחד קוב; זה די הרבה יותר, שלישי מטר קוב נוסף. לא היה לנו עט לעשות את החשבון; חישבנו שהוא מוסיף לנו שלושה משטחים של עשרה סנטימטרים גובה בשלוש צלעותיה של הקוביה. כל אחד מהם יוצר מטר מרובע על עשרה סנטימטרים. יש כבר 0.3 מטר מעוקב תוספת, עכשיו צריך להוסיף מקלות בשלושה צדדים, ובסוף להוסיף פינה בחיבור של שלושת המקלות שנוספו בצדדים. יחד זה יוצא 1.331 מ"ק, כלומר כמעט אחד ושלישי. זו הרמאות שלו, ואנחנו ידענו לפחות מה החשבון...

במחצבה זו השתמשו גם בדינמיט, כדי לפוצץ את האבן. מקל הדינמיט היה בידיו של חייל, שידע איך להדליק אותו. כשנתקלנו באבן גדולה, בגוש אבן ענק, צריכים היינו לקדוח בו חור כדי להכניס מקל ארוך של דינמיט, לכסות, להדליק ולברוח. היו מכסים את הסלע בפח, כך שכשזה מתפוצץ לא יעופו אבנים אלא פח. לא היתה לנו מכונה לקדוח את החור עבור הדינמיט. היינו עומדים עם ראגנה, מוט גלילי שמסתיים כמו מברג. אחד מחזיק את המוט והשני מרביץ עם פטיש של חמישה קילו. בין הרבצה להרבצה מזיזים קצת את המוט. כך המכה נוחתת כל פעם

במקום אחר, וכעבור מספר שעות נוצר חור עגול. אז מפוצצים את הסלע. יום אחד יצא לי להחזיק את המוט ולסובב, לסובב, לסובב. שם למעלה מוט האלון לאט לאט התעקם, ובאחת ממכות הפטיש הללו עף שבב, פגע ברגל ופצע אותי בווריד. אחד החברים, קרולציק, היה סטודנט בקורס ג' לרפואה, לכן תמיד החזיק אצלו ציוד עזרה ראשונה לשעת הצורך. במצבים אלו הוא היה מראה את המקצוע שלו. כשמדי פעם מצלמים ברנטגן רואים את חתיכת הברזל שנשארה ברגל.

בגטו ואחר כך בעבודות הכפיה, יכולתי להכיר את האנשים יותר משיכולתי להכיר משך חמישים שנה במקום אחר, מכיון שהיינו כולנו יחד, צפופים. היו שם עורכי דין, היו שם רופאים, פרופסורים, היו שם גם גנבים ומשוגעים. כולם היו יחד, מדברים ומחליפים דעות.

והיו שם... חיים. אחד היה עוזר לשני. אם היה חבר חלש שלא הצליח לגמור את המכסה היינו גומרים אתו, עוזרים לו.

אחר כך החזירו אותנו שוב לצ'רנוביץ, לקראת התארגנות מחודשת, ושוב יכולתי ללמד ילדים, הפעם תקופה קצת יותר ארוכה.

מחנה שלישי

המחנה השלישי היה שוב בתוך מולדובה, דרומה על יד הקרפאטים, לא רחוק מהמקום בו נולדתי. שם נדרשנו לבנות ביצורים נגד הרוסים. הגענו לשם ב 43' והיינו שם כתשעה חודשים או יותר, לתוך 44'. אני ברחתי מן המחנה לפני שהגיעה לשם החזית. באזור שלושה נהרות. דראגה היה מחנה גדול מאוד, בנוי כמו עיר שלמה, על יד הנהר סירט. באותה תקופה עבדו שם כאלפיים יהודים. הגרמנים רצו להקים לאורך הנהר קו ביצורים, כהגנה נגד הרוסים. כבר אז ידעו שלא ירחק היום והרוסים יחזרו. לשם כך נחוצים היו הרבה יותר אנשים. הם אספו לשם אלפיים יהודים ממקומות רבים ברומניה, ל'עבודה לצורכי ציבור' כביכול. בשכנות היו שני מחנות נוספים: מחנה של שבויי מלחמה רוסים, שהיו לגמרי כחושים ומורעבים, ומחנה נוסף קטן יותר, של שבויים אוקראינים שנקראו 'ולטוב', עריקים מהצבא הרוסי שעברו לצד הגרמנים, ושימשו כנוגשים של השבויים הרוסים. כל שלושת המחנות הועסקו בעבודת הביצורים. היינו יוצקים בונקרים מסוגי בטון שונים. היה שם בית חרושת שלם של אלמנטים טרומיים, מגרש עצום שהיו יוצקים בו קורות של בטון באורך שניים עשר מטרים. היינו יוצקים מאות מאות כאלה, מחסנים שלמים. אחר כך היו מעבירים אותם ובונים מהם מבצרים. עובי הקיר לבדו שני מטרים וחצי ומעליו גג ומתוכו נפתח חלון שמירה. מתוך מבצר כזה יכול חייל עם מכונת ירייה להגן על שני מבצרים נוספים. כך קו שלם, והיו מוסיפים עוד גדר תיל ועוד גדר תיל.

עבדנו שם די הרבה זמן, הרבה מאוד אנשים. כאן היה שימוש רב לידע המקצועי שלי, מכיון שכולם כבר קרעו את הגרביים, וגם המכנסיים כבר השתפשו. כבר צריך היה לתקן אותם, היה כבר מה לעשות.

קיוויתי שאגיע שוב לצ'רנוביץ ואוכל לשלוח שוב כסף לאחותי. החזית באותו זמן ב 43' עוד היתה אלף קילומטר מאתנו. אבל אגרתי כסף והצטיידתי בבלאנקו, כלומר דף נייר עליו מודפסת חותמת המחנה. מי שנשלח לנקות את שירותי הקצינים, אם תפס רגע מתאים, ואם היה מספיק נועז, היה נכנס ותולש דפים אחדים. על ידי כך סיפק את פרנסתו עד סוף המלחמה, כיון שאם יש לך בלאנקו אתה יכול לכתוב בו, ואפשר כבר לעשות משהו. קניתי בלאנקו ותפיתי אותו לתוך הבגד, לעת מצוא.

לאט לאט התחילו לנשב רוחות אחרות. החזית התקדמה מהר מאוד. היא היתה כבר אחרי סטלינגרד. היתה דאגה אמיתית שמא החזית תגיע ואנחנו ניתפס בין הקווים, היה ברור שישמידו אותנו לפני שהם נסוגים. לכן התחלנו לתכנן בריחה. המחשבה הראשונה שלי היתה לברוח אל החזית. עקבנו אחרי העתונים; מדי פעם נפל לידינו עתון מלפני שבוע, מלפני שבועיים, ידענו כבר איך לקרוא אותו וניסינו ללמוד היכן עומדת החזית. למשל נוסח כזה: 'הצבא הגרמני האדיר הצליח ליישר את הקו ולקצר את אורך הקווים', זאת אומרת שהם כבר נסוגים. כש'מיישרים קו' זה טוב. ראינו שהחזית יכולה להתקדם ארבעים קילומטר ליום, אפשר לעשות חשבון כעבור כמה זמן תגיע אלינו. הסכנה נעשתה מוחשית, וצריך לחשוב איך אתה בורח, לפני שהחזית תתקרב יותר מדי.

לאורך הנהר בסמוך אלינו היו כמה עיירות שם גרו עדיין יהודים, כי זה הרי מולדובה, זאת אומרת בתחומי רומניה הקטנה. את כל הנקמה הוציאו הרומנים על בסארביה ובוקובינה שעברו מיד לידי בשנים הסמוכות למלחמה. שם השמידו את הכול. גם מהעיירות הסמוכות הללו נשלחו בחורים לעבודה במחנה דראגה.

החברים שלי שעבדו אתנו והיו מבני העיירות הקרובות, היו משלמים מעט לחייל הרומני ששמר והיו נוסעים הביתה לשבת. במוצאי שבת היו חוזרים. גם השומר הבין שאין להם לאן לברוח כי החזית באותו זמן עוד היתה רחוקה מאתנו. אם אתה בורח - לאן תברח? תופסים אותך, מחזירים אותך ויורים. אבל הבחורים האלה כשהצליחו לצאת תמורת תשלום היו עולים על רכבת, רק תחנה אחת קצרה והם כבר בבית, ובמוצאי שבת היו חוזרים למחנה.

היה לי הבלאנקו, 'שברתי את הראש' איך עושים את זה, ויום אחד החלטתי שאולי הגיע הזמן לברוח. זו היתה הבריחה הראשונה. התוכנית שלי היתה להגיע אל הרוסים. במקום לחכות עד שהגרמנים יתארגנו, אברח אל החזית והיא תעבור עלי. לכן שאלתי אחד הבחורים, מאלה שבשבת נוסעים הביתה, אם יוכל לברר עבורי בעיירה, האם מישהו יהיה מוכן לתת לי מחסה למשך כמה ימים.

ואני על הנהר הבא

החשבון שלי היה, על פי קצב התקדמות החזית, שנחוצים לי עשרה ימים. אני זוכר בדיוק מתי צריך היה לברוח, זה היה בראשון למאי 44'. אותו בחור מהעיירה הסמוכה אמר שיבדוק, וחזר במוצאי שבת עם תשובה חיובית: ישנה אישה, אני סבור שזו היתה אמו, שמוכנה לשים אותי על הבוידם. שאלתי חברים שלי, אם אנסה לברוח, האם יהיו מוכנים משך עשרה ימים לכסות על ההיעדרות שלי. בבוקר היו סופרים אותנו במגרש, מקריאים שם ואתה צריך לצעוק 'פרזנט', נוכח. כשיצעקו את השם שלי אחד מהם יענה במקומי. כמובן, זה מסוכן אם ישימו לב שאותו אדם עונה פעמיים. קבענו שיתנו לי כיסוי, ואם תוך עשרה ימים אני לא חוזר, סימן שכבר הסתדרתי או שהחזית עברה או... לקחתי את הבלאנקו וכתבתי בכתב יפה מאוד, שהיהודי אברהם כוגן נשלח על ידי שירותי הבריאות של המחנה להביא תרופות מהעיירה טיקוטש. יש על הדף חותמת, הכול בסדר. לפנות ערב - ידענו מתי עוברת שם הרכבת - ניגשתי לשער, אמרתי לחייל מלה, דחפתי לידו שטר של כמה עשרות ליי, והוא הבין שאני כמו הבחורים מהעיירות, ונתן לי לצאת. ניגשתי לרכבת, עליתי והיא התחילה לזוז. עובר הקונדוקטור, במקום להראות כרטיס אני נותן גם לו שני ליי. הוא הבין שכנראה שעליתי בלי כרטיס, העיקר שיש לו קצת פרנסה. נסעתי עד התחנה הבאה, ירדתי והגעתי לעיירה טיקוטש. מהרכבת יחד אתי ירדו עוד כמה בחורים, והם הביאו אותי לאישה שכינו 'זמנה' (גברת) צירקוס'.

הגעתי, היא שמה אותי בעלית הגג וכל יום היתה מביאה לי מעט אוכל ועתון ואני הייתי עוקב בתשומת לב אחרי החזית. לפי ההרים ראיתי שהם מתקדמים יפה מאוד; ארבעים - חמישים קילומטר ליום, את קישינוב כבר עברו, ואז עמדו פתאום קרוב ליאסי. החזית על נהר פרוט ואני על הנהר הבא, על הסירט וראיתי שהחזית נעצרה לגמרי.

ביום הששי או השביעי לשהותי שם, הבחנתי שבעלת הבית מאוד מוטרדת. שאלתי 'מה קרה?' - מהלכת שמועה שמישהו מסתתר בביתה. לא רציתי לסבך אותה, 'אל תדאגי' אמרתי לה, 'הערב אני אעלם.' לפנות ערב, מצויד בבלאנקו, ניגשתי לרכבת. כבר ידעתי איך עושים את זה, כי לשם נסעתי עם הבחורים. באמצע הלילה חזרתי למחנה, עומד שם חייל, שומר עם רובה, שואל 'מי שם?!' אני אומר 'זה אני!' אני ניגש אליו ונותן לו את הכמה ליי שצריך לתת לרומנים שם. להיכנס פנימה יותר קל מאשר לצאת. נכנסתי לתוך הביתן, כולם כבר ישנו. אני נכנס, אחד מתעורר, השני מתעורר, כולם מתעוררים: 'אברהם, חזרת?!' הייתי שוב בפנים ולמחרת אני כבר אמרתי 'פרזנט'.

מכנסיים פרחוניים

באותה תקופה כבר הייתי חייט מדופלם: ידעתי להטליא טלאים, לקצר ולהאריך. כבר היה נחוץ. חשוב היה לקנות שוב בלאנקו, ואולי צריך יהיה לשלם לאיזה קצין שיעזור לנו לברוח יותר רחוק, אולי עד בוקרשט. לכן כמה שאפשר, בימי ראשון או בערבים הייתי תופר. יום אחד פרצה מגפה, היתה שמועה שזה טיפוס והעמידו קרנטינה. המחנה היה גדול, ובו בלוקים רבים, עיירה שלמה. הודיעו שלבלוקים מסוימים אסור להיכנס. לי היה חשוב מאוד לתפור, ראיתי שהקצינים מפחדים להיכנס למקום ההסגר, נכנסתי לביתן כזה ותפרתי. בצורה כזו הייתי מרוויח מעט כסף בערבים ויכולתי לשלוח לצ'רנוביץ כדי שישלח לאחותי.

השם שלי כתופר כבר היה ידוע. לאחד הבחורים תפרתי אפילו מכנסיים. הוא ניגש אלי וביקש: 'אברהם, אתה יכול לתפור לי זוג מכנסי עבודה?' המכנסיים שלו היו בלות. 'אני לא יודע' אמרתי, 'אבל אפשר לנסות. ובד יש לך?' הוא הוציא מן המזוודה מפה של פסח עם פרחים גדולים צבעוניים, ואמר: 'הנה, זה בד חזק.' 'ננסה' אמרתי, והכנתי דגם מעתונים ישנים. דגם הנייר היה נראה כמו מכנסי הכהנים הזוטרים, שאפשר לראות בספרים. אזרתי עוז וגזרתי גם את הבד. איכשהו, עד הסוף היה לו זוג מכנסיים מהמפה הזו. הוא היה מתהלך אתם ואומר 'הויזן מיט קוויטן', מכנסיים עם פרחים.

עגלת עגבניות

היות והשם שלי כבר יצא כבעל מקצוע בדבר הזה, ניגש אלי יום אחד הלוטונר מיג'ר ואומר לי 'ג'דאני!' - יהודי. 'ביום ראשון זה אתן לך תעודת מעבר, אתה תלך לבית שלי בכפר, ותעזור לאשתי לתפור וילונות.' כתבו לי פקודה רשמית וביום ראשון יצאתי והלכתי רגלית לכפר. משך כמה שבועות, היה שולח אותי שאתפור בביתו שבכפר. אביב, הכול היה מלא פרחים, מיני צבעים וציפורים, אתה יוצא מהמחנה הזה, נושם את האויר בשדות, הרי הקרפאטים לידך, ואתה הולך חופשי בחוץ. אור היום נראה היה אחרת, לא כמו בתוך המחנה.

בפעם האחרונה שנתנו לי 'פרופוס' מעבר, בדרכי חזרה על דרך העפר, אני רואה מרחוק עגלה רתומה לפרדה, מתקדמת לעברי. יושב עליה זקן מחזיק במושכות, מאחוריו סחורה. למעלה על גבי הערמה יושב בחור צעיר. הם מתקרבים, נעצרים על ידי, ושואלים אותי ברומנית: 'יהודי, אתה מהמחנה?' אני אומר 'כן'. פתאום הבחור מתחיל לדבר והזקן כאילו נרדם: 'תשמע, אני מהסוכנות היהודית. אנחנו נהיה כאן הערב, ליד גדר המחנה. נוכל להוציא על גבי העגלה ארבעה עשר איש. כשתכנס למחנה, תמסור לבחורים שאם יצליחו לצאת מעבר לגדר ניקח אותם.' הבחור הצעיר היה שליח מארץ ישראל. כיליד המחוזות הללו, הוא הכיר את כל המקומות. היה נוסע בדרכים על עגלה עמוסת עגבניות וזה נראה טבעי. אתנו על העגלה לקח את הזקן, מישהו שסמך עליו. באתי למחנה עם השמועה הזו, מיד התארגן כל מי שיכול היה. קפץ מעל הגדר, שילם משהו עבור הקפיצה הזו וניצל. לפנות ערב הגיעו שוב עם העגלה, העלו את הבחורים, כיסו אותם בשמיכות ובעגבניות ונסעו. כך הם הגיעו לבוקרשט ומשם לארץ ישראל.

הבריחה

כשפגשתי את איש הסוכנות עוד לא הייתי מוכן. אני הייתי מוכן כעבור חודשיים, במאי. הכנתי לי שוב בלאנקו. החזית שנעצרה התחילה שוב לזחול, בכל זאת יד הרוסים היתה על העליונה. לאט לאט התגבשה הדרך לבריחה.

במחנה היה קצין זוטר שעשה לעצמו פרנסה: ביום ראשון, כשהוא חופשי, היה לובש את המדים המצוחצחים שלו, ויכול היה לקחת קבוצה של ארבעה או חמישה יהודים בתואנה שהם עריקים והוא מוביל אותם לבית דין צבאי למשפט. התארגנו יחד ארבעה בחורים. ארבעים אלף ליי צריך היה לשלם, כל אחד מאתנו ישלם רבע מהסכום. את הבלאנקו שלנו הוא הדפיס על מכונת הכתיבה שלו: סגן יונסקו מוביל ארבעה אסירים יהודים שברחו מהמחנה למשפט צבאי בבוקרשט. זה היה הכיסוי. הוא אמר שעלינו לברוח מתוך הגדר, להתחבא מחוץ למחנה בתוך שדה תירס שהיה גבוה מאוד, ולשבת שם עד חצות. הוא יופיע באמצע הלילה, ילך לאורך הכביש, וישרוק מנגינה מוכרת. כשנשמע את השריקה נצא מבין גבעולי התירס ומשם הוא יקח אותנו. וכך היה.

שומר עמד על מבנה גבוה, ושמר ביציאה. שילמנו לו שיסתכל ליהופיץ, כלומר לכוון אחר, והיינו בחוץ. התחבאנו בתוך התירס וחיכינו ללילה. בחצות שמענו את המנגינה. אנחנו יוצאים, הוא אוסף אותנו, ומתחיל לגמגם. הוא אומר לנו 'תשמעו, זה כבר מאוחר כעת, לא טוב עכשיו לנסוע. אקח אתכם לכפר ומחר בבוקר ניסע.' ידענו להתנגד ואמרנו לו 'לא, זה לא ילך כך. או שאתה לוקח אותנו או שאנחנו נכנסים חזרה למחנה.' דיברנו כך שידע, שאם הוא לא מקיים

את התוכנית גם הוא יחד אתנו יפול בפח. זה פעל והוא אמר 'טוב, אז ניסע.' הסיכום אתו היה שהוא יביא אותנו עד לכתובת שהיתה בידינו של הסוכנות היהודית בבוקרשט, ושם נשלם לו. כך יצאנו לדרך. עם רכבת צדדית הגענו עד מרששט, צומת חשוב של רכבות, שם צריך היה לחכות כשעתיים עד שהרכבת המהירה תגיע מצפון, ונעלה עליה. התחנה היתה המקום המסוכן. כל המשטרה הצבאית על הרגליים, בייחוד בזמן הגעת הרכבת. בודקים אם אין בורחים: לא רק יהודים, בעיקר חיילים מהחזית שבורחים. הגענו לתחנה, המון עם רב, בעיקר חיילים עם תו שרוול של המשטרה הצבאית. הקצין מושיב אותנו על המדרגות העולות לבנין בית הנתיבות, שומט לנו את הקסקטים על העיניים, ופוקד עלינו: 'אתם כאילו ישנים, שבו בשקט עד שאקרא לכם.' ואנחנו יושבים כביכול היינו איכרים שמחכים במקום הכי גלוי. לידינו עלו וירדו אנשים, ולא שמו לב. יושבים כל הארבעה 'ישנים' על המדרגות. כשהתקרבה רכבת, בא ולקח אותנו שוב עם הרובה מאחורינו, ופקד: 'הולכים!' הכניס אותנו לתוך הבנין, ופה כבר היתה מהומה גדולה. השרוולים האדומים חיפשו ובדקו תעודות, היתה סכנה. הוא תופס אחד מהם ואומר לו: 'אתה תיקח את ארבעת העריקים הללו. אלה הארבעה ברחו מהמחנה ואני מוביל אותם לבית דין צבאי בבוקרשט, אני הולך לסדר ניירות. אתה אחראי!' נותן לו טפיחה על הכתף והולך הלאה. הקצין נעלם, הוא יודע בדיוק מתי הרכבת מגיעה. פה סביבנו מחפשים תעודות ובודקים אנשים והבחור עומד עם הרובה ושומר עלינו. אין מה לבדוק, אנחנו כבר בדוקים. כעבור זמן מגיע הקצין שלנו, טפיחה נוספת: 'בחור טוב!' לוקח אותנו חזרה תחת חסותו, דוחף אותנו לרכבת, מכניס אותנו לחדר השירותים אחד על השני על השלישי, ופוקד: 'גם אם ידפקו על הדלת - אתם לא פותחים!'

בנין הסוכנות

מפלויישט לבוקרשט מרחק חצי שעה נסיעה ברכבת, אבל הקטע הזה כבר לא פעל. פלויישט היתה מרכז נפט, לכן היו מגיעים בכל יום מפציצים של בנות הברית בקבוצות של שלוש מאות מטוסים, ובבת אחת מורידים 'פצצת מרבד'. כל השטח היה חרב. תחנת רכבת כבר לא היתה שם, אלא רק רכבת קטנה שהיתה נכנסת לתחנה ובורחת ממנה. כך התנהלו הדברים. אותנו הורידו, ומשם כבר צריך היה להגיע בדרך אחרת. זה היה לפנות בוקר, וראינו שהאנשים חיוורים כמו סיד, מותשים לגמרי. בכל יום בתשע בבוקר יורדת עליהם הפצצה כזו, לכן הזהירו אותנו שלא נתעכב, שנצא משם מוקדם. שאלנו מהיכן יוצאים לכוון בוקרשט. הקצין העמיד אותנו מחוץ לעיר על הדרך הראשית, עצר משאית צבא גרמנית, הסביר לנהג את כל הסיפור לאן ולמה הוא מוביל אותנו, ושאל אם אפשר טרמפ. הוא ישב על יד הנהג, ואותנו הכניס יחד עם החיילים הנאצים מאחור. ואנחנו יושבים אתם, נוסעים לבוקרשט. מיד בכניסה לעיר הקצין רצה לנטוש, אבל דרשנו שיוביל אותנו לרחוב המסוים ולמספר הבית שקיבלתי בשעתו מהשליח על עגלת העגבניות. הוא הוביל אותנו לשם, קיבל את הכסף והלך, ואנחנו נכנסנו לבנין הסוכנות היהודית בבוקרשט.

הכשרה

בבוקרשט היה משרד שנוהל בידי שני הצנחנים מארץ ישראל, מנו בן אפרים ושייקה דן. שייקה ניהל את העסקים הגדולים, דאג לכסף ולקשרים עם הרומנים. ומנו היה איש תרבות, לימד אותנו שירים עבריים ואהבת הארץ. כבר הרגשנו בדרך לארץ ישראל. מנו גם ארגן לנו את העבודה. שניהם היו ילידי רומניה, עלו ארצה לפני המלחמה והגיעו חזרה למחוזות ילדותם כשליחים. הם היו לבושים אזרחי, עד למהפך של ה 23 באוגוסט, כאשר הממשל הרומני התמרד ועבר לצד הרוסי. למחרת הם הופיעו עם מדי הצבא הבריטי, אתם צנחו.

היינו במעין הכשרה. חיכו שתתארגן אניה ונוכל לעלות ולנסוע. בהכשרה ניסו ללמד כל אחד מאתנו מקצוע. היינו בעיר, חקלאות לא היתה שם, אבל הם הכירו יהודים שהיו להם בתי מלאכה. שלחו אותנו לעבוד אצל נפח או חרש ברזל, בבית מלאכה לשטנצים, עבדנו שם על ריתוך מתכת. שלחו אותי לשיעורי נהיגה, אמרו שחסרים נהגים בארץ. תקופה מסוימת נשלחתי למכור עתונים, פשוט כדי להרויח מעט. שלחו כל אחד לעשות משהו.

מזל יש לכם שאתם יהודים!

בבוקרשט גרתי בחדר סוכנות אחד עם יהודה פיימן, אחד מארבעת החברים שברחו אתי. שנינו עבדנו במפעל של יהודי, שלימד אותנו נפחות, ולפנות ערב בדרך לחדרנו היינו עוברים בחנות, קונים לחם. דיברנו בינינו גרמנית, זו האידיש של צ'רנוביץ, אליה הספקתי להתרגל במחנות. אנחנו הולכים ומשוחחים, ופתאום ניגש אלינו בחור מחויט בבגד כחול, עוצר אותנו: 'בבקשה תעודות!' הוא מראה לנו מסמך שמעיד שהוא מהבולשת. הוצאנו את התעודות והוא מתחיל לבדוק. זה היה זמן קצר אחרי ההתקוממות בבוקרשט. החזית היתה כבר די קרובה, הרומנים הבינו שזה הסוף, והמלך החליט לכן שהוא מתמרד; הוא נתן פקודה לשלושת אלפי הגרמנים שהיו בעיר לעזוב את בוקרשט, ובתגובה הם הבעירו את שדה התעופה של העיר. התנהלה מלחמה בין אלה לאלה, היו יריות בלי סוף עד שהכניעו את הגרמנים. ראינו אותם אז הולכים כנועים ברחוב, מועברים למעצר. היו כאלו שברחו וכל המשטרה הרומנית חיפשה אחריהם, ופה הוא תפס שניים שמדברים גרמנית, מציאה כזו. מיד היו סביבנו אנשים רבים, כל אחד סקרן לראות איך תפסו שני גרמנים. ההוא בודק הכול, יש לנו תעודות טובות: התעודה מראה שאנחנו יהודים מצ'רנוביץ, שנלקחנו למחנה דראגה ואנחנו אומרים שברחנו משם. לבסוף שחרר אותנו. האנשים פנו איש לדרכו, רק יהודי זקן ניגש ואמר לנו בהתרגשות: 'אתם יודעים כמה מזל יש לכם שאתם יהודים!'

לך לך

בפינת הרחובות ליד שוק הפשפשים ניצב עץ 'תה'. זה היה בבוקרשט באותם הימים (קיץ '44) מקום המפגש. היינו הולכים לשם מדי פעם בכדי לראות אם הגיע עוד בחור מהמחנה, אם הצליחו אנשים נוספים לברוח. יום אחד אני מגיע ופוגש את מוסקוביץ שעבד אתי במחנה. הוא אומר לי: 'תשמע, כוגן, ישנו בחור מהצבא האדום שמסתובב בעיירות בסביבות המחנה, מראה את התמונה שלך ושואל אם יודעים דבר עליך'. שניים מאחי הגדולים, אלי ויצחק, היו בעת פרוץ המלחמה כבר נשואים, וגויסו לצבא האדום. לקחתי חופשה מההכשרה ונסעתי לחפש את אחי. בימים כתיקונם ארכה הדרך שעתיים - שלוש, אני עברתי אותה משך יומיים - שלושה. על המסילה הסיעו רכבות צבאיות ארוכות אל החזית, לכן היו מורידים בכל פעם את הרכבת שלנו מהפסים, וכך התקדמנו לאט לאט. לפנות ערב הגעתי לאותה עיירה. הייתי די בטוח בעצמי שאמצא את דרכי, הלא אני דובר רוסית. נכנסתי לעיירה ושאלתי אנשים היכן היא אותה כתובת. איש לא ידע. אחי מסר את השם הרוסי של היחידה, אבל הקסרקטין היה קודם לכן של הצבא הרומני. האזרחים במקום הכירו את השם הרומני, ואילו השם הרוסי לא היה ידוע להם. אני מחפש ומחפש ובינתיים מתחיל להחשיך. אחד האנשים אמר לי: 'עדיף שתחזור, תפוס מחסה כי בשעה חמש נכנס לתוקף העוצר'.

עצרו אותי חיילים רוסים, אני מסביר גם להם מה אני מחפש. הם דרשו שאכנס לתחנות המשטרה, בדקו את התעודות, שמא אני מרגל, ולבסוף נתנו לי ללכת. אבל לאן ללכת? אני יוצא החוצה וכבר עוצר. הקסרקטינים היו בפרברי העיר, לכן הלכתי לכביש העוקף, ומרחוק ראיתי את פסי הרכבת, לאורכם מהלך חייל בעל עיניים מונגוליות; סובייטי ששומר כנראה

על המסילה. חשבתי שאם אגש אליו, אפילו רוסית לא יבין, וכבר לא יצא טוב. לפניו בתעלה לצד הכביש יושבים חיילים סביב מדורה, מבשלים ושרים. במקום שהם יעצרו אותי, עברה מחשבה בראשי, אגש אני הישר אליהם, אדבר רוסית ואשאל לכתובת של אחי. הייתי במצב נואש. ניגשתי אליהם. אחד מהם, נראה כבן שבע עשרה, אומר לי דברים של הגיון: 'שמע, אם תמשיך לחפש כאן בשעה זו - יירו בך, בוא שב עמנו, מחר בבוקר אעזור לך למצוא את אחיך'. טוב מאוד. התיישבתי ומעט ירדה ממני הדאגה. הכרתי את השירים ששרו: 'קטיושקה' ו'ארץ רחבת ידיים'. הם מלנינגרד, סיפרו לי, עברו שם מצור קשה מאוד, אנשים רבים נהרגו. 'מה אתה חושב? אנחנו נהנים לשבת כאן באמצע הלילה בחזית? - אבל בשביל המולדת.' אני סיפרתי להם שאני מבסרביה, ומה קרה לי. היתה אחווה עצומה.

המקום - במורדות הרי הקרפטים. אזור של גפנים, ויש שם שפע יין. הם הביאו דלי יין וכמה ספלים מפת, די גדולים. התחילו לחלק. המפקד מוזג: 'נו, למי ראשון? - לאורח' ומגישים לי ספל כזה. ידעתי שאם אומר שאינני שותה זה יהיה עלבון, זה לא טוב, אז שתיתי. גם הם שתנו. הקצין מציג את עצמו: 'שמי צ'ורבקוב, היכן שמעת את השם הזה?' באותו זמן היה אחד מגדולי הפוליטבירו ששמו צ'ורבקוב, לכן כך החמיא לעצמו. אני כבר הייתי קצת בגילופין, בלי לחשוב הרבה אמרתי: 'או, נעים מאוד, שמי כוגן, שמעת ודאי.' חשבתי על כגנוביץ שהיה אז השני לסטאלין.

ברגע שהוצאתי את המלה 'כוגן' - אני רואה קרח. פתאום כולם... והבנתי שזו היתה טעות גורלית. אומר הקצין לצעיר שהציע לעזור לי למצוא את אחי: 'אנדרושה, לך תביא את המפקד. יושב פה איזה בסרבצ'יק יהודי וצריך יהיה לבדוק את התעודות. נסיים לאכול ונבדוק אותך, צריך לראות מי הוא, אולי שפיון.'

היה אז כבר 44', הבנתי שאין מה להתמהמה הרבה, והתחלתי לחשוב במהירות איך יוצאים מזה. קודם כול נצמדתי לזה שישב לידי, שלא יחשוד כלל שאני מתכנן לברוח. תכננתי לתת קפיצה אחורה, לסובב אותם במאה ושמונים מעלות ולרוץ בכוון הנגדי, ומה שיהיה - יהיה. וכך עשיתי. רצתי כעשרים מטר עד שנתקלתי בחייל שהיה בפורול. הוא תופס אותי ואני מנסה להסביר לו במהירות שנוצרה כאן אי הבנה. בינתיים הגיעה אחרי כל החלטטה הזו והם צועקים: 'שפיון!' ושהם רוצים אותי. 'לא', התעקש החייל, 'הוא יבוא אתי לקצין שלי.' הביא אותי לבית איכרים, והודיע לקצין שהוציא משנתו: 'תפסתי את הבחור הזה.' לקחו ממני את הכול - את הכסף, את השעון, רשמו כל דבר. הכניסו אותי לחדר, אורווה היתה שם, לפני עומד טנק. ראיתי שפה אין מה לעשות, אין לאן לברוח, ואני יושב כל אותו הלילה עם שומר בחוץ, כמו תרנגולת לפני השוחט בערב יום כיפור, ומחכה.

בבוקר נתנו הוראה לאחד החיילים לקחת אותי לקומנדטורה, למשטרה הצבאית. הוא לוקח אותי תחת רובה, והולכים. אני מתחיל להסביר לו שזו היתה אי הבנה אחת גדולה. באתי לחפש את אחי שנמצא כאן באחד המחנות. החייל לא היה שם אתמול, אני מנסה להסביר וראיתי שהוא מבין מה קרה פה. הוא אומר: 'שמע, אבל אתה יודע במה מאשימים אותך?' 'במה?' אני שואל, והוא אומר: 'אתה מואשם שברחת מתחת למכונת היריה' נו, עכשיו תחשוב אתה, לולא

הייתי בורח מתחת למכונת היריה - כבר לא היה לך את מי להוביל.' הבחור תפס את הרעיון ואמר: 'נראה לי שאתה צודק.' 'כמה המרחק לקומנדטורה, זה עוד רחוק מכאן?' שאלתי. 'זה עוד בלוק אחד' הוא אומר. לצד הדרך בה הלכנו נפער בור גדול תחת בית שקרס. הוא מראה לי את הבור ואומר: 'אתה צודק, אם היו יורים בך היו זורקים אותך בבור כזה ואף אחד לא היה שם לב.' - 'נו, אתה מבין?' והוא הבין.

'אולי פה הקומנדטורה?' שאלתי. הוא הבין את הרמז, נתן לי את התעודות והפטיר: 'לך לך'. כעבור מחצית השעה פגשתי את אחי, את יצחק.

העפלה

שם האניה היה 'צאלח א־דין', והיא נקנתה על ידי המוסד לעליה ב' מימאי יווני. בייעודה הקודם שימשה להובלת חיטה בתפזורת. בקרבה הותקנו שורות דרגשים צפופות עם מעבר צר ביניהן, על מנת שתכיל עוד ועוד מעפילים.

'במוסד לעליה היה מקובל, שלכל מעפיל מקצים על האוניה מרחב מחיה של שבעים וחמישה סנטימטרים מרובעים, עשרים וחמישה מהם לתרמילו. ללא היתר מגבוה הורדנו את המכֶּסֶה והעמדנוה על חמישים סנטימטרים לאדם ותרמילו. ידענו שהצפיפות תהא רבה יותר, אך חישבנו ומצאנו כי הפסד מרחב המחיה יצא ברווח: יותר יהודים יגיעו ארצה.' (שייקה דן | צניחה עיוורת)

כשנה לפני כן נתגלה לאנשי המוסד לעליה ב' כי ממשלת בריטניה קיבלה החלטה סודית, לאפשר לכל יהודי אשר יגיע לתורכיה להמשיך ארצה. ההחלטה דרבנה את אנשי המוסד לעליה ב' לארגן הבאת יהודים לתורכיה. 'צאלח א־דין' היא אחת מהאניות שנועדו להעביר יהודים מרומניה לתורכיה. על סיפונה הצטופפו חמש מאות ארבעים ושבעה עולים, והוא עמהם. מעת הגיעם לתורכיה, הובלו ברכבת צבאית כ'אורחי הצבא הבריטי' כדי לטשטש את העוול המתמשך, ולסמא את עיניו של עולם אדיש ממילא.

ההסגר על חופי ארץ ישראל לבל יעפיל איש יהודי ארצה, הושם על ידי השלטון הבריטי, שקיבל מן האומות את המנדט להקים בית לאומי לעם ישראל בארצו. הסגר זה נכתב מעל דפי ספרי החוקים של בריטניה, ונודע בכינויו 'הספר הלבן'. מעל דפי המציאות נכתב חוק זה בכאב, במאבק איתנים של אודים מוצלים מאש, שהעפילו בסירות ובאניות קטנות ונהדפו שוב ושוב על ידי אניות מלחמה בריטיות.

בידיו ובידי חבריו למסע היו סרטיפיקטים, היתרי כניסה ארצה, שחולקו למצער בארצות הגולה על ידי השליט הבריטי. במשרדי הסוכנות נותרו בעת המלחמה היתרים, שהונפקו עבור יהודים שנספו בטרם הספיקו לממש את זכותם. פעילי 'הבריחה' הסירו את הצילום המקורי והצמידו אחר תחתיו. בזהות מושאלת זו, שהשאילו החיים מן המתים, העפילו ארצה.

כל אחד מאתנו צריך היה לאמץ זהות ולשנן את שמו המדומה של אביו, היכן נולד ומתי. אני אמור הייתי לומר שנולדתי בסנוק ב 20'. שמחנו: הנה אנחנו עולים ארצה. כשהתחלנו את המסע, מישהי לפתע התחילה לבכות שאיננה זוכרת את שמה, שני לא ידע היכן נולד והשלישי שכח את שם אביו...

נסענו במשאית מבוקרשט לקונסטנצה, עיר נמל על חוף הים השחור. שם עלינו על אנית המעפילים 'צאלח א־דין' שנראתה כקליפת אגוז קטנה. משך ארבעה ימים הפלגנו בים סוער עד שהגענו למים הרדודים של מרמרה, עד לבוספורוס, שם עגנה האניה יומיים, אבל נוסעיה לא הורשו לרדת. מכאן הפכנו להיות 'אורחי הצבא הבריטי'. הבריטים הרי עשו מעשים שלא ייעשו. הרי סגרו את השערים ולא נתנו ליהודים להכנס ארצה, אבל היות והיו בידיו סרטיפיקטים, סימנו אותנו כעולים לגליים. בחלקו היבשתי של המסע, ברכבת צבאית, נסענו דרך אנאטוליה, בתוך ההרים, מזרחה עד גבול תורכיה, באזור כורדי. משם דרך סוריה לכל אורכה: עברנו את חומס, חמה ואלפו, האזור בו היה ספר תורה 'כתר'. כך הגענו עד גבולה הצפוני של לבנון ונסענו לאורך החוף. נכנסנו ארצה דרך מנהרה בראש הנקרה.

7



מפגשים

מפגשים

קורס מבוא טלפוני

אבא סיפר: תוך כדי ארוחת הערב מתקשר יהודי, ואומר: 'פרופ' כוגן, הבנתי שאתה מייצר מימן' ושואל האם אוכל לספק לו כך וכך קוב מימן ליום, לצורך הפעלה של מכשיר שהוא המציא. 'אני עדיין לא בשלב הזה', ענית, 'ולשם מה לך המימן, מה הרעיון שאתה מנסה לפתח?' בן שיחי מעבר לקו מתאר את הרעיון שלו בהתלהבות, ואני רואה שאין לזה רגליים.

ארוחת הערב נזנחה ואבא נכנס עם היהודי בשיחה:

- 'מה עיסוקך?'

- 'אני אינסטלטור, והיו לי הרעיונות הללו.'

- 'אולי תיגש ותביא פיסת נייר ועפרון, ונחשוב יחד איך זה עובד.'

'התחלנו מאל"ף' - סיפר אבא - 'ועברנו שלב שלב על החוקים הפיזיקליים הרלוונטיים לרעיון שלו. בסופו של דבר הבין ואמר בעצמו: 'אם כך, אני מבין שזה בעצם לא רעיון'. כשסיימנו את השיחה התבוננתי על השעון וראיתי, שהעברנו יחד שלוש שעות טלפוניות.'

מה נשמע?

בשלב מסוים של הפיתוח, היה דרוש פילטר עם מפרט מאוד מסוים, להפרדת המימן מהפיח. אבא התחיל לחפש: בבתי חרושת למלט, בתעשיות כבדות, במפעלים, בחנויות לציוד תעשייתי. בהזדמנות אחת התלוויתי אליו ונסענו יחד לחנות גדולה באזור תעשייתי, שם הפנו אותנו לחנות אחרת, ומשם שמנו פעמינו לחנות שלישית. בכל מקום, אחרי שהתברר שהפילטר המסוים אינו בנמצא, קיבל המלצה היכן להמשיך את מסע החיפושים. אבא לא נלאה. באותה תקופה סיפר לי מדי פעם על העולם המעניין של הפילטרים שנפתח בפניו. כמובן שחיפש את הפילטר גם דרך קטלוגים מסחריים וגם דרך האינטרנט ברחבי תבל.

יום אחד מצא, דווקא בקרבת המכון, מפעל משפחתי קטן המייצר פילטרים מתאימים על פי הזמנה. המפעל לא הופיע בפרסומים ואיש לא ידע לכוון אותו אליו לפני כן. מהיכן אם כן הגיע המידע?

במגדל השמש עובדת בכל בוקר מנקה, יפה שמה, ואבא מחליף אתה מלה, שואל מה נשמע. יום אחד הבין מדבריה ששואב האבק הועבר לתיקון. כעבור כמה ימים שאל בשלומה והאם כבר החזירו לה את השואב מתוקן. 'כן', אמרה יפה, 'היה צורך להחליף את הפילטר וכעת הוא עובד מצוין.' אבא בירר היכן תוקן שואב האבק של מגדל השמש, והגיע אל המטרה.

האיש הצדיק הזה

מלבד המראה שלו, היתה מראה נוספת במעבדה. גם היא הובאה מהמזיאון למדע של טיבולי, שוודיה, וגם היא עלתה לחוקרים במגדל השמש עשרת אלפים דולר. יום אחד נשמע קול נפץ והמראה של המחקר השכן נסדקה. אחרי שהרגיע את הדוקטורנטית עם האופטימיות שלו, התווה גם דרך מעשית לתיקון מה שנראה היה כמקרה אבוד. מהיכן שאב את הידע?

אליהו סבא היה ילד בקישינוב, ובקישינוב היו צוענים שהיו צריכים להתפרנס. הם היו מצפים כלים בבדיל והיו מתקנים כלים שבורים. כילד בן שבע, התבונן והבין איך הם עובדים: הם היו מניחים טבעת בתוך קערה של פורצלן שנשברה, הטבעת היתה קצת יותר קטנה מהכלי, וטבעת נוספת כנגדה, בצד החיצוני של הקערה. הם היו מתחילים ללפף חוט ברזל מהטבעת שבפנים לטבעת שבחוץ, ונוצרה מתיחה מכל הכוונים. כך היו עושים הצוענים, וכעת סבא הציע שכך יצילו את המראה הסדוקה. הוא לא חשש לעשות אפליקציות של ידע מגיל שבע ביישום מורכב שנקרה בדרכו בגיל שבעים ושבע.

ד"ר חנה קליין תרומתו המשמעותית ביותר של אברהם עבורי אישית, היתה כאשר התחלתי את עבודתי במגדל; הוא למעשה הציל את עבודת הדוקטורט שלי. מקודמי במחקר קיבלתי מראה פרבולית מדויקת בעלת תכונות אופטיות נדירות, ועסקתי בעריכת מדידות של איכות המערכת האופטית. היה יום שמש מושלם והכול הלך כשורה, עד שלפתע שמעתי קול נפץ מחריד. מיד הודעתי לחדר הבקרה להפסיק את כניסת קרני השמש וניגשתי לבדוק מה ארע.

אברהם היה במעבדה והוא זה שהבין ראשון. 'המראה נסדקה' אמר, וטיפס על הסולם הבלתי יציב, לבחון את מידת ההרס של המראה הפרבולית. עובי הזכוכית מנע את נפילת המראה (תודה לאיל), אבל רכיב חסר תחליף זה של מחקרי נמלא סדקים ואני הייתי קרובה לבכי.

אברהם אמר: 'אני אחשוב על זה, אל תדאגי, איכשהו זה עוד יעבוד.'

למחרת נכנס למשרד שלי כשבידיו צלוחית שבורה, שחזק את היקפה בעזרת חוטי מתכת שנמתחו למרכז מאחור. לא האמנתי למראה עיני, פרופ' כוגן שבאותו זמן בקושי הכרתי, הקדיש שלוש או ארבע שעות מזמנו היקר כדי ליצור את דגם האפשרויות הזה.

התנסות נוגעת ללב זו ליוותה אותי לאורך שנות עבודתי במחקר. שמרתי לנגד עיני משך שנים רבות את הצלוחית הקטנה, השבורה ומתוקנת. נדמה היה שהיא מדברת אתי ואומרת: תמיד, גם כשהכול נראה חשוך, ניתן לפלס דרך אל האור. המראה שלי תוקנה ועדיין נמצאת במרומי אותה מעבדה, בה עבדתי משך שלוש שנים לצדו של ענק.

בקיץ האחרון הגענו שוב בעלי ואני למגדל, ומצאנו את אברהם יושב בספרייה כמנהגו. היתה לי שאלה לשאל, אך הפעם לא הגעתי לכך. אברהם הזמין אותנו לשבת עמו, וכאילו היינו קרובים, החל לספר לנו ברכות על משפחתו, בנו, בתו וחתנו וכמה מנכדיו, וכן דיבר אתנו על עבודתו. הרגשנו שנינו שנתברכנו בזכות עצומה להיות במחיצתו של האיש הצדיק הזה. ימים ספורים לאחר מכן עזב את העולם הזה.

תמיד אזכור אותו כמורה אציל, כאדם מכוון היטב עם המציאות, מחונן מגבוה ביכולת לתרום מדעית למען עולם עתידי טוב יותר. אומץ לבו ומידותיו התרומיות מזוהים עבורי עם תביעתו הגבוהה של המדע.

לוני אני רוצה לדבר על דודי היקר מנקודת הראות של נער מתבגר, עולה חדש, שהתמזל מזלו לבוא במגע עם אדם גדול בתקופה קריטית בהתבגרותו. על הדוד אברהם שמעתי רבות מהורי עוד בגולה, ראיתי את מכתביו מלאי הדאגה וההתחשבות, ואת חבילות התרופות הנדירות ששלח לאבי כאשר חלה. כאשר עלינו לארץ פגשתי אדם המשלב חכמה יהודית ורוחב אופקים. הבית שלו ושל הדודה שולה התגלה עבורי כאוצר בלום של אתגרים חדשים – ספרות, מוזיקה, אמנות ומדע – מסיפורי או הנרי ועד ספריו של עמנואל וליקובסקי, מתקליטים של פבלו קזלס מנגן באך ועד תמונות היהודים של רמברנדט, מטיולים בכרמל ועד סיור בטכניון. תמיד חוויתי את ביתם כבית חם ומקבל, וגם בית של אנשים שהם מכאן, שייכים ומעורים בארץ. כשהתחתנתי ברבות הימים, צירפו הדודים גם את אשתי לחוויית הבית המופלא הזה. **תנה להבי** כשהיה בני הבכור דוד תלמיד תיכון, תכננו הוא וחברו לכתה בן קיבוץ אפיקים לבנות טיל. למרבה המזל התכונן לא היה סודי, ואפילו החמנתי לשוטט אתם בחצרות מפעלי הקיבוץ כדי לחפש חלקים לבניית הטיל. מובן שדאגתי, אבל לא קל לעצור התלהבות נעורים בדאגות של אמא, וצריך היה גורם משכנע יותר. שיתפתי את רבקה והיא הציעה פגישה עם אביה, אז דיקן הפקולטה לאוירונאוטיקה בטכניון. הפגישה נקבעה והגענו. דוד היה מצויד בתוכניות שהוא וחברו שרטטו. אברהם דן עם דוד בשרטוטים ללא שמץ העמדת פנים, ברור היה שהיחס שלו ענייני ורציני. לאחר מכן לקח אותנו לסיור במעבדות המחלקה. הסיור הסתיים בביקור במעבדה בה נוסו חומרי נפץ, שנקראה על שם חוקר שלא היה זהיר דיו. לא היה צורך במלה נוספת, שני החברים זנחו את הרעיון, ועמק הירדן ניצל. מאז ועד שירותו הצבאי בצנחנים, לא עסק עוד דוד בחומרי נפץ. הפגישה עם אברהם, נוסף על היותה גורלית, פשוטו כמשמעו, היתה מרשימה ברמה האישית. היה כל כך ברור שבאותו אופן היה מתיחס לילד או לנשיא וגדול. **רות ארבבל** כשהיה בני ילד בן שבע, הגעתי אתו לחיפה, ואברהם לקח אותנו לראות את מנהרות הרוח. סך הכול היה ילד מאוד קטן ולאברהם היתה סבלנות מעולם אחר. הוא ראה שהילד מקשיב ומבין והוא היה אתנו שעה ארוכה והסביר לו כל דבר באופן מיוחד. עברו מאז יותר מחמישים שנה, והוא זוכר כל פרט. **אליהו אשכנזי** הכרתי את פרופ' כוגן לפני ארבעים שנה. הייתי אז בחור צעיר והגעתי לעבוד אצלו בפרויקט התפלת מי ים. מאז שמרתי אתו על קשר לאורך השנים. כל המחקרים שאני ראיתי

שהוא עסק בהם היו תמיד לטובת האוכלוסיה ולטובת המדינה. אבל לפני היותו חוקר, פרופ' כוגן היה קודם כל בן אדם. הוא דאג לכל העובדים שלו גם מבחינת השכר וגם מבחינת החיים האישיים שלהם. מי שהיה בצרה יכול היה לפנות תמיד אל פרופ' כוגן. אני זוכר שאחרי מלחמת יום הכיפורים הוא העסיק שלושה אנשים שהיו שבויי מלחמה אצל המצרים. לפני שהם הגיעו הוא אסף את כל המחלקה, הסביר על מצבם, וביקש שלא נציק להם ונאפשר להם לבצע את העבודה שלהם איך שהם מעדיפים, יעלה כמה שיעלה. הוא דאג שנערים שלא הצליחו מבחינה חינוכית יבואו לטכניון וילמדו מקצוע. בכל פרויקט שהוא ביצע עבור מוסד הטכניון, הוא דאג שהעובדים הזמניים של אותו פרויקט יקבלו אחר כך קביעות בטכניון. תמיד כשדיברתי עם פרופ' כוגן קיבלתי ממנו את התחושה שהוא מדבר בגובה העיניים. הוא מעולם לא התנשא בגלל היותו פרופסור אלא דיבר אל כולם באופן שווה.

סבתא שולמית משלב מאוד מוקדם, אברהם התכוון לעסוק בדברים שיתרמו לפיתוח הארץ. אף על פי שהיה מתמטיקאי והציעו לו להמשיך לעסוק בחישובים תאורטיים גבוהים, הוא פנה דווקא לשטחים המעשיים. היתה לו סבלנות אין סופית. תמיד היה אופטימי ותמיד בטוח שהכול יהיה בסדר. למרות שעבד חמש עשרה שנה מתוך השקעה והתמסרות על המתקת מי ים, כשזה ירד מהפרק לא היתה לו שום טרנויה. גם כאשר דברים אחרים לא הצליחו, לא כעס ולא בא בטענות לעצמו או לאחרים. תמיד ידע להסתכל קדימה וללכת הלאה, היו לו תכונות מאוד מיוחדות. **מאיר** הוא היה בעל שילוב נדיר של התמדה מאוד גדולה מצד אחד וגמישות מחשבתית מצד שני. בדרך כלל אלו שתי תכונות סותרות. על פי חוקי הפיזיקה מסה גדולה יכולה לבקוע את ההר, אבל היא לא תלך הצידה כשמתברר לפתע שצריך לעקוף, כי מסה זו אינרציה. אבא ידע גם לבקוע הרים וגם לשנות כוון על פי הצורך. **דוקי** אם היינו אומרים לסבא שהוא עניו, לא היה מבין על מה אנחנו מדברים; אנשים ענווים לא מבינים בזה, לא מכירים את האלטרנטיבה. מידת הענוה בדרך כלל מחוברת אצלנו עם התכנסות הכוחות. ודווקא על משה שהיה גיבור, עשיר וחכם, מעידה התורה שלא היה עניו ממנו. כי ענוה קשורה עם ידיעת



האמת. אדם עניו יודע בדיוק מי הוא ומה הוא עניינו. בדרך כלל, את הכוחות שאדם יודע ומכיר בעצמו הוא מתרגם לאחריות. לקחת תפקידים, לדעת שזה מוטל עלי. לא להגיד 'מי אני?' 'מה אני?', עם המשפטים האלה אפשר להתחמק כמעט מכל הדברים שצריך לעשות. כשאתה יודע את ערכך אתה עסוק במה שמוטל עליך לעשות, באחריות שיושבת עליך. סבא הרים הרבה הרבה מטלות שעל חלק גדול מהן לא שמענו וגם לא יספרו לנו עליהן. **דוד כ.** סבא היה כל מה שקשור לחיים, להתמודדות עם מה שקורה, לחשיבה על פתרונות, לאופטימיות, ליכולת לעשות דברים לבד וביחד, לסבלנות כלפי כל אדם ואמון ביכולת שלו להבין, להיות מה שהוא וגם להיות שותף לחכמתו ולניסיונו של סבא. סבא לא השאיר את חכמתו במגדל השן, אלא האיר ממנה בחמימות לזולתו. אני יכול להעיד שלא נלאה מלהסביר לי עניינים מדעיים ותהליכים חברתיים, הסטוריים ופוליטיים. הביע תמיד התעניינות במצבי, בעבודתי, ולאחר החתונה התעניין בחיינו החדשים, והרגשתי שהוא שותף באהדה למה שעובר עלינו. סבא יצר עולם. עולם של מחשבות, דימויים, הומור, בירור מתמיד וגם זכרונות, גשר למה שהיה ונעלם. הוא לא שכח ולא התנתק מהעבר. סבא לא היה מקובע, יכולת לראות זאת בגינה המקסימה שטיפחו הוא וסבתא בשקד, גינה שחיה את חיי הטבע ועונות השנה והזמינה אליה צמחים ובעלי חיים נדירים ומעניינים. כל פעם שהגעתי לשקד הרגשתי שהכול חדש, הכול חי ושום דבר איננו ברור מאליו. העולם שסבא יצר אמיתי וממשי בעיני, ואני מרגיש שעולם זה נענה לתדרים עמומים שפועמים בלב היקום, ומיטיב לשקף אותם. **יצחק** דוד הזכיר שסבא לא ישב ב'מגדל השן'. זהו ביטוי שמתייחס למקום שהוא אמנם מאוד נישא, אבל קר ומנותק מהחיים, מאוד תאורטי. סבא, כך אני מרגיש, ישב כל החיים על ענף עץ האגס בחצר הציורית בבית הוריו. הוא התבונן ממקום גבוה אבל טבעי, מאוד חי ומאוד מחובר וגם מאוד מאוד יהודי. בזוית המבט של סבא היה משהו כל כך מיוחד. **הלל** ישנן שתי תכונות שמאוד אפיינו את סבא. אחת – השמחה, הצחוק; גם על דברים שלא הצליחו סיפר עם חיוך. התכונה השנייה – הענוה, היכולת לעסוק בו זמנית בכרטיס הקטנים ביותר ובעניינים הגדולים ביותר. פעם שאל אותי אם אני שומע חדשות. אמרתי לו – 'מה יש חדש בחדשות? מה יש לשמוע?' אז הוא קצת הסביר לי למה זה כדאי. עשה

לי סקירה איך הכול משפיע על הכול. איך כשהסינים... משבר באמריקה... נפט... וכדאי לשים לב, ולחבר את כל העולם. פעם בחורף, סבא יצא מהחדר עם החלוק שלו הכחול. נעלם השרוך שקושר את החלוק, וסבתא הביאה לו משהו בצבע אחר וזה היה נראה קצת מצחיק. סבא קשר את השרוך תוך שהוא 'מתפאר' שהוא ה'כליף של קטאר' והתחיל לחתוך את הסלט של הבוקר בתור הכליף. התישבתי לידו ושאלתי אותו איך הוא יודע איך נראה הכליף של קטאר? היתה אצלו דוקטורנטית מחו"ל שכתבה מחקר עבור המדינה הזעירה קטאר וביקשה מכתב המלצה מסבא, סיפור שלם. היא הביאה לו ספר עם תמונה של הכליף. סבא הסביר לי חצי מזרח תיכון תוך כדי שהוא חותך בסבלנות את הקולורבי קוביות, קוביות, קוביות. **עמנואל כ.** משמעותיות מאוד היו לי השיחות עם סבא. יכולנו לשבת יחד שעתיים שלוש ולהתגלגל מנושא לנושא. מדברים בעניין מסוים, אז הוא 'שניה' פותח סוגריים ונותן לי סקירה הסטורית זריזה. מדי פעם עולים נושאים מדעיים וסבא מסביר אותם, כמוכן בפשטות רבה ובתוספת תרשימים. בצורה מאוד גלויה היה פותח, מרחיב ומצליח לסגור הכול ולחזור לנושא ממנו התחלנו. **לוני** למרות היותו היחיד מבין האחים שזכה להשכלה גבוהה, ואף הגיע לעמדת פרופסורה, מעולם לא התנשא על אחיו, או על כל אדם אחר. הוא היה צנוע ופשוט הליכות, ותמיד מוכן לעזור בכל דבר. הסבר מבריק שלו על חומר הלימוד במתמטיקה, שם בצל את ספרי הלימוד, וגרם לי לראות את הגרדיאנטים והאינטגרלים קמים מרצם ורוקדים לפני כאיילים. למרות שחשבתי מלכתחילה ללמוד הומניסטיקה, הסבריו גרמו לי להתאהב בעולם המתמטיקה והפיזיקה. תמיד נינוח, אוהב אנשים, בעל חוש הומור מיוחד. **אליהו** הכול היה חלק מהחיים. סבא היה חי כל הזמן. עכשיו כשסבא נפטר, אני חוזר לפעמים לפירוש שאמר הרב שלמה זלמן קוק על הפסוק 'חשתי ולא התמהמהתי לשמור מצוותיך'. פעם שוחחתי על הפירוש הזה עם סבא: 'חשתי ולא התמהמהתי' זו לכאורה כפילות. רוב האנשים ממהרים וחשים מפני שקודם הם התמהמהו, ועכשיו כבר אין להם זמן, הם חייבים למהר. אדם מכניס את עצמו למגבלה של זמן, ואז הוא עושה דברים הרבה יותר מהר מכדי שהם יהיו טובים. הוא צריך לוותר כדי למהר על האיכות,

על הכמות. ואילו התכונה האמיתית שנקראת זריזות, מהותה שאין לאדם רגע מיותר בחיים, אם יש רגע הוא ממלא אותו. לכן אומר דוד המלך, אני 'חשתי' ולא התמהמהתי, מבלי שהייתי כלאו בסד של זמן, חייתי באופן מלא את הזמן שהיה לי. מסתבר שזאת זריזות מסוג אחר לגמרי. הייתי מסתכל על סבא, איך היה במתינות ומתוך תכנון לוקח כל כלי ליד, והרגשתי שאני לומד. **יצחק** כשלמדתי נהיגה, צייד אותי בכלל בטיחותי: 'הכלל החשוב הראשון בנהיגה זהירה - לצאת בזמן'. **אלישבע** היא נהג בזהירות, בכביש כמו במעבדה, ובכל תחום שעסק בו. מתוך שידע להעריך מאוד את החיים, עשה כל דבר בשיקול דעת ועם מקדם בטחון גבוה. אפיינה אותו גם זהירות ומתינות מחשבתית; כל דבר בירר לעומקו, לא מיהר להסיק מסקנות פזיזות, לא הכליל הכללות ומורגל היה בפיו לומר 'איני יודע'. **נחשון** 'זו פרבולה!' כך פתח את הסברו המלומד מי שהכין אותי לבחינות הבגרות במתמטיקה. כמובן שהציור על הלוח ואמירתו הפסקנית גררו מיד צרור שאלות מצדו: ומה עם זה? זו לא פרבולה? זו למה כן? וכן הלאה, עד שיכולנו לומר לעצמנו שכנראה הבנו באיזו מידה. סבא לעומתו פתח אחרת לאחר שנודע לו שהתחלתי ללמוד על פרבולות: 'היוונים כבר הבינו שיש הרבה זוויות בהן אפשר לחתוך קונוס'. כאן פתח סבא בפני את כל עולם החתכים הקוויים מהאליפסה והעיגול ועד לפרבולה ולהיפרבולה (כמובן משם לעניין מעשי: מראת העל במכון ויצמן שקודקודה הוא קצה של היפרבולה). סבא הבין באמת מה הוא אומר וידע להעביר זאת לשומע. **ישורון** שמעתי את נחשון מספר לסבא שהאמריקאים מציעים פרס למי שימצא מספר ראשוני חדש. נחשון שאל אם אמורה להיות שיטה למצוא מספר כזה, וסבא הסביר לו את שיטת הבדיקה. בהתחלה אמרתי לעצמי - אם האמריקאים מציעים על זה פרס, כנראה בלתי אפשרי למצוא פתרון מידי, יש עוד אנשים גאונים בעולם... במחשבה שניה חשבתי: אנשים גאונים כמו סבא באמת אין בנמצא, בתוך שניה הוא שלף שיטה. **חיה ב.** אהבתי להקשיב בימי הולדת, איך סבא מברך כל נכד בברכה מדויקת על פי מה שמתאים לו, נוגע תמיד בנקודה בה הוא נמצא. בשבת האחרונה שלו אצלו בירכו אותי לקראת תחילת השירות הלאומי. כל אחד אמר משהו בקשר לעבודה עם הבנות האתיופיות, וסבא בירך פשוט: 'שתצליחי להבין אותן'. כשהתחלתי



להדריך, מהר מאוד הבנתי שהוא נגע בעיקר העניין. **חגי** לכבוד ששה עשורים למדינה הכנו בבית הספר תערוכה. יחד עם חבר הכנתי דגם של מגדל השמש. נסענו לרחובות, סבא הביא אותנו למגדל, הסביר לנו את הצורך בניצול האנרגיה. אחר כך לקח אותנו לסיור משדה המראות למטה ועד לראקטור על מבנה הברזל למעלה. הכול לווה בהסברים מפורטים מהרעיון, דרך נוסחת המימן ועד למימון. אבל סבא לא הסתפק ביום סיור ל"אנשים הכל כך חשובים שהגיעו". שעות אחדות לפני פתיחת התערוכה הוא בא לבית הספר ובדק שהכול במקום ושההסבר מובן. **אלישבע** פעמים רבות מספור ישב אתנו סבא והסביר לנו בסבלנות, תוך רישום מסודר על דף נגיש, עניינים מתמטיים ומדעיים. כאשר ירד אצלנו שלג בירושלים הילדים בנו איגלו. הם התקשרו לסבא כשהגיעו לחלק העליון ולא הבינו איך לבנות את הכיפה. הוא דיבר אתם שעות בטלפון והסביר להם בדיוק איך להנדס את הקוביה העליונה כך שהיא תחזיק את עצמה. הכול היה בדיוק כמו שהוא אמר, בנוי חזק מאוד וממש נראה כמו איגלו אמיתי. **חיה כ.** תמיד היה מביא אתנו שפע, פרות וירקות בכמויות, ברוחב לב. הוא המשיך כל השנים את הנוהג של בית הוריו בקישינוב, שם היה אביו מביא עבור המשפחה הגדולה עגלות עמוסות פרי מהשוק. **סימה** גם את הצעצועים הקטנים הביא תמיד בכמות עודפת, אם היו אצלנו ילדים אורחים - תמיד היו מספיק צעצועים לחלק לכולם ועוד היה נשאר בשקית עודף. **צבי** פעם, על הדשא בקיבוץ, ישב אתי סבא והסביר איך ממטרה עובדת, איך מצלמה מצלמת, איך עובד גלגל שניים. ופעם הראה לי איך בונים קופסה ואיך מנסרים ענף עץ ענק וגינה פראית הופכת מסודרת, נהיה אור בעיניים. תמיד אהבתי להקשיב לסיפורים מהגלות ומבניין המדינה, להקשיב להסבר על תכונות החומר ועל הדרך לחבר רהיטים, מכשירים או מספרים. תמיד היה טוב במחיצתו. אין לנו תמורתו. **יצחק** היכולת באמת לגעת בכל דבר, לפתוח כל דבר ולגשת לפתרון של כל דבר בכוחות עצמו. מה הבעיה? נסתדר עם זה. מה יכול להיות? נפתח את זה ונראה. **עמנואל ב.** כילד, ביקשתי וקיבלתי רובה צעצוע מכני, שבמהרה נשבר. ידעתי שאין מה להצטער, כי סבא יתקן, אבל לסבא היו תוכניות אחרות עבורי. 'אני אפרק את הרובה, אתה תשב ותלמד מה בדיוק נשבר ואז תבוא אלי ונתקן אותו.' סבא לקח סכין יפנית וחתך את כל

הדבק בצדי יציקת הפלסטיק, פתח את הברגים והביא לי את הרובה, כשהוא מוחזק חזק בין כפות ידיו. ישבתי שעה, שעתיים, אולי שלוש, עד שהבנתי איך פעל הרובה, ומה בדיוק נשבר. סבא ניסר חתיכת עץ במשורית והבריג במקום הנכון. אחר כך חיבר הכול לפי הוראותי והחזיר לי את הרובה עובד. מאז, בכל פעם שמשהו מתקלקל אני פותח אותו, לומד את המנגנון ומתקן. אם לא היה לי סבא כזה, הייתי מזמין טכנאי. **עמיחי** אפיינו אותו חוסר דשדוש במקום, מבט קדימה, רצון לחיות, רצון לעשות, רצון לתת. אפיינו אותו האופטימיות, העין הטובה, ראיית הטוב. כל דבר שסבא עשה, כל נושא שלמד ובירר, כל מה שלימד - הכול היה יסודי ומסודר. שנזכה לקחת את אותן תכונות טובות ולאמץ אותן לחיינו. **דוקי** להיות מסוגל לחשוב מחוץ להווייה שלך, להיות מסוגל להבין מעבר לאיפה שאתה נמצא - איפה השני נמצא. הענווה האכפתית מכל אחד, המתעניינת בכל אחד באמת. זו אותה תכונה שאפשרה לו לחשוב על הילדים ולדעת מה משמח אותם. היה מאוד קשה להבין את הרציונל מאחורי הצעצועים הקטנים האלו. איך בהתמדה של שנים הביא בדיוק את מה שהם אוהבים. היכולת להיות עם כל אחד ומצד שני לא להתרשם ולא להילחץ. נראה שלא היה פרופסור שאמר 'אני לא יודע' בכזו טבעיות כל כך הרבה פעמים. שואלים אותו והוא אומר 'אני לא יודע, זה לא במקצוע שלי.' פעם בדיון בחיל האויר חיפשנו טבלה מסוימת של נתונים ולא מצאנו. צלצלתי לסבא ושאלתי: 'אולי אתה זוכר...?'. הוא זכר, אמר לי בעל פה את המספרים, והוסיף: 'תראה, אני לא בטוח... הרבה זמן לא הסתכלתי על זה.' אחר כך מצאנו את הטבלה וראינו שהמספרים שאמר היו נכונים כולם לאורך כל הטבלה עד הרבה אחרי הנקודה. **תהילה** הגעתי פעם עם ההורים לרחובות והם השאירו אותי אצל סבא. למרות שזה היה קטע זמן מאוד עמוס בעבודה שלו, הוא לקח אותי לסיור במכון. אני הייתי סך הכול בכיתה ו'. הוא הביא אותי לחדר המחשבים, הכיר לי את כל העובדים, הראה לי את המראות מלמעלה ואחר כך אמר: 'טוב, אי אפשר להסביר את זה ככה.' ירד אתי למטה ושם הסביר לי איך עובדות המראות. **תריצה** תמיד כשהוא הסביר עם הדף והעפרון הנצחיים, זה היה ברמה שלי. יכול היה לכתוב נוסחה ארוכה, לצייר ולהדגים, וכשהוא עשה את זה אתי הרגשתי שזה אפשרי. **חנה כ.** על כל

שאלה היתה לסבא תשובה, ועל כל תשובה - חידוד. תמיד היה מסביר כל דבר בצורה נפלאה ומובנת. אפילו שמאתנו היה גדול, תמיד הסביר ברמה שלנו כאילו הוא בן גילנו. **רבקה** לא מזמן היה תרגיל הג"א ארצי. כל תושבי המדינה היו אמורים לרדת למקלטים בזמן שתשמע אזעקה. באותו ערב שוחחנו בטלפון ושאלתי אם היה במכון. כן, הוא נסע למכון, אבל רק אחרי התרגיל. אבא שאל אותי: 'ירדתם?' התביישתי לומר אבל הודיתי שלא ירדתי את הקומה האחת שהייתי צריכה לרדת. הוא ירד שתי קומות עם כסא מתקפל, ובכיס לקח אתו שתי מכוניות צעצוע קטנות, עבור ילדים שיגיעו למקלט, שמא יהיו מבוהלים או משועממים. **ישורון** פעם עברתי עם סבא ליד חנות צעצועים. סבא אמר: 'צריך לקנות מכונית לשלומילה!' ונכנסנו פנימה. המכונית הראשונה שנראתה בעיניו היתה מכונית גדולה עם מנוע קפיץ מכני. סבא דחה את האופציה: 'יכולה להיתפס לו האצבע.' **בנימין** סבא תמיד הביא לנו צעצועים קטנים. הוא קנה לי מנורה חשמלית שהיה צריך לבנות אותה לבד, ואבא ואני הרכבנו אותה. הוא גם קנה לי מכוניות עם שלט והסביר לי איך לכוון אותן. אהבנו לדבר ביחד, והוא היה מסביר לי כל מיני דברים מהעבודה שלו. בפעם האחרונה הוא הסביר לי על מיקרוסקופ שמצליח להגדיל פירור אבק לגודל של עמוד. סבא ביקש מהמזכירה שתגדיל לו פירור אבק וזה הפך להיות בגודל של רבע דף, אז ביקש שתגדיל עוד וזה הפך להיות חצי דף ואז הוא ביקש שתגדיל עוד וזה הפך לדף שלם. אני אהבתי לספר לו על דברים שקורים לי בגן, והוא היה מקשיב לי ושואל אותי שאלות על 'ההסטוריה שלי'. הוא ישב אתנו במוצאי שבת האחרונה שלו והכין אתנו 'סירה של עשירים' מקיפולי נייר. הוא לא סיים אותה, כי היינו צריכים ללכת הביתה. ביקשתי ממנו שימשיך ביום ראשון והוא כבר לא הספיק. **שרה כ.** בנימין אמר לי: 'המנגנת של סבא אברהם בגן חילקה כלי נגינה, וסבא כשהיה בגן אהב את המשולש.' איך ידע לרדת עד לשם ולדבר בדיוק על מה שמעסיק ילד קטן? **חפציה** אני בהתפעלות מתמשכת, לאורך כל זמן שכתוב ההרצאה של סבא. אני אהבת לראות איך סבא משתמש בגוף ראשון כדי לתאר את השלבים של הניסוי וההתלבטות, אבל בשלב הממצאים תמיד עובר לגוף שני רבים: אתם רואים... אתם מבינים... העשייה שלו היתה באופן הכי אמיתי בשביל כולנו, כל עם

ישראל. והכול בחיוך הזה, בעליצות של ילד שמשחק בערפת כימיה. בלי גאווה בכלל. **אליהו** נראה שסבא ממש חי כל מה שעשה. כשהייתי ילד הוא סיפר לי שאם מחממים מים יוצא משהו אחר - אדים, ואם ישימו מסננת... זה היה נשמע לי אז כל כך פנטסטי! הוא באמת האמין שהאטומים האלה נמצאים שם, ושמח כל כך להראות לנו אותם במיקרוסקופ האלקטרוני, הם היו כביכול חברים שלו. סבא היה אדם אמיץ, לא פחד מכלום. הוא האמין שאפשר להפיק אנרגיה ושהיא נמצאת בכל דבר. במים, אפילו בגלים. לכל תחום הכניס את הראש ואת שתי הידיים. שמש, רוח, הכול בלחצים גבוהים, בטמפרטורות גבוהות. במפגש באקדמיה אמר שהוא מאמין שהקדוש ברוך הוא נתן לנו כאן המון אוצרות טבע. ככה הוא אמר: 'אין לנו נפט, אבל יש לנו שמש! יש לנו רוח, יש לנו מים מלוחים. זה הרבה מאוד. אפשר לעשות עם זה המון.' אני חוזר כל פעם לנוסח של אמא: 'סבא הגדול שלנו'. הרגשה כזאת, שהיה משהו גדול בחיים. ענק בכל תחום, בכל דבר... אני יודע שפגשתי משהו גדול בחיים. **דובי** אני זוכר שפעם סבא שאל אותי על הבגריות שלי ובעיקר על לימודי פיזיקה (נושא שאכן הטריד באותה תקופה). לאחר מכן הוא התחיל להסביר לי תופעות הקשורות לחומר הנלמד בצורה בהירה, שגרמה לי באמת לאהוב את הנושא. איכשהו הוא הצליח להכניס חיים לכל הנושא הזה. **אהרון** כשאני חושב על סבא, אני נזכר במאור הפנים והשמחה התמידית, תמיד חיוך... אחת מהתכונות היפות של סבא היא הענווה. למרות כל גדלותו המדעית, כלפינו הנכדים הוא היה סבא רגיל ופשוט לגמרי ללא כל תארים או ספורי גבורה. **איתן** 'איך נפלו גיבורים ויאבדו כלי מלחמה' - סבא שלנו, לא על הרבה אנשים בגילך אפשר לקרוא את המקרא הזה. גם בגיל צעיר שבח גדול הוא להיות גיבור וכלי מלחמה בצבא ישראל, שבח גדול שנשתבחו בו שאול ויהונתן. זכית אתה זכינו אנו שיש לנו סבא שגם בגיל שמונים ושמונה עודנו גיבור ועודנו כלי מלחמה. לא רק בגיל מופלג - מילדותך, מנעוריך, לאורך כל ימי חייך נשזר חוט שני בולט, ברור, עקבי וחזק - חוט של גבורה, חוט של כלי מלחמה. היית גיבור בעמידתך האמיצה מול רשעי אומות העולם שקמו עלינו להשמידנו. היית גיבור במטלה הבלתי נתפסת שנטלת על עצמך כל כך בפשטות - לפרנס את אחותך ובעלה במשך כל שנות המלחמה. היית כלי מלחמה כשברחת בתושיה ממחנה הכפיה,

וכשבהחלטיות המשכת את לימודיך בארץ. כלי מלחמה היית במלחמת השחרור, בחמ"ד, ובתהליך בניית הפקולטה לאירונאוטיקה בטכניון. כל ימיך היית גיבור גדול בניצול הזמן, הכוחות והכשרונות ללא לאות לפיתוח, למחקר, לעשייה, לבנין כבוד ישראל, עוצמתו וחוסנו. לרגע לא חשבת לעזוב את המערכה - גם אחרי הפנסיה. היית גיבור כשמתוך הגיון צרוף, מתוך ענווה ומתוך ריכוז במטרות האמיתיות גזזת עבודה של עשר שנים על הפרדת מים ועברת מיד, בלא שמץ יאוש ורפיון לפתח שיטה להפרדת מתאן. וגיבור היית סבא גם בשבוע האחרון כששאלתי אותך, כרגיל בטלפון בערב שבת, איך העבודה מתקדמת, ולראשונה בחיי קיבלתי ממך את התשובה המפתיעה שאינך עובד. 'זמן ועת לכל חפץ' אמרת לי - וגם משפט זה, סבא, המלים האחרונות ששמעתי ממך, ספוג גבורה, ספוג בהירות דעת וריכוז בהשגת המטרה. סבא, סבא הגדול שלנו! כל כך לא מתיישב על הלב לדבר עליך בשפה של הספדים. כל כך חי היית, כל כך מלא וגדוש, כל כך מנוער מכל קטנות, מכל שטחיות, מכל רפיון ומכל סכלות, כל כך מנוער מכל מה שיכול למות. כל כך אהבת את החכמה, רצית להנחילה לכולנו, ולכולם בכלל, אבל אני חושב סבא, שמי שהיטיב להקשיב לך יכול היה לשמוע שבעומק, בתוך אהבת החכמה בערה בך שלהבת אהבה לעם ישראל. אחריות, מסירות, נאמנות לעם השב לציון. כל כך התעקשת להתמקד רק בחכמה שימושית שתביא ברכה לטובת הכלל. אינני יודע סבא, כמה מאתנו ילכו בפועל בדרכך המדעית, ודאי גם נכדים כאלו יהיו בינינו, אבל אני חושב שמה שבאמת חשוב לך הוא שנהיה מחוברים לתהליך המופלא של קיבוץ הגלויות, בנין הארץ, התעצמותו ואחדותו של העם. אתה רוצה סבא שלא נעמוד מנגד, שלא נחסוך את כוחותינו וכשרונותינו מעמנו, ואת זה סבא באמת נשתדל ללמוד ממך. **אליהו** אתה משאיר אחריו סבא, עולם הרבה יותר טוב מהעולם אליו באת אתה. ביום הולדתך השמונים, באקדמיה, אמרת בהרצאתך בפשטות ובישרות: 'אנו מדינה קטנה ואין לנו הלוקסוס להתעסק במדע טהור'. את כל כוחך וכשרונך העצום ובעיקר שקדנותך, השקעת במחקר שהוא שימושי למדינת ישראל. כמה הספקת ושינית בעולמנו. ממשרדך וממעבדותיך ידעת למשול בשמש, ברוח ובמים, ועוד לפני כל אלו ברוחך שלך משלת. 'הנעלבים ואינם עולבים, שומעים חרפתם ואינם משיבים, עושים מאהבה ושמחים ביסורים, עליהם הכתוב אומר ואוהביו כצאת השמש בגבורתו'. את גבורת השמש העברת דרך משפך של אור, את המים המלוחים המתקת וכמה מתוק ונעים היית לנו, סבא.



חיתוך נייר עמנואל בן ארצי

אבא חי במעמד נפש של ערב ראש השנה. תמיד ייחל לטוב ואיחל טוב לכולם. היתה בו ציפיה תמידית לטובת הכלל שתתגלה ותופיע, היתה ודאות שהנה זה עומד אחר כתלנו, עוד מעט סבלנות, עוד מאמץ, ותהיה כאן קפיצת מדרגה - במחקר, בפיתוח, ביישום, במצב הלאומי, באחדות, בישרות, בשכל הישר. את כל אלו שיקע גם בברכת 'שנה טובה' מסורתית שבירך מכל הלב. היה משתדל 'להרים טלפון' לכל אחד מקרוביו וחבריו, בארץ ובחו"ל. במגרותיו כרטיסי ברכה רבים, מעטפות ובולים שתמיד היו מוכנים אצלו, וכן רשימות הקרובים שערך בכל שנה מחדש, כדי לוודא שאיש לא ישכח. **תכלה שנה וקללותיה, תחל שנה וברכותיה.**

אבא היה יהודי חם. כהן שברכתו באהבה. נולד בא' **בסיון תרפ"א**. נלקח לבית עולמו אור ליום י"ט **באלול תשס"ט**. ערב ראש השנה. ימים ספורים לפני כן אמר לנו במאור פנים: **בעוד שבועיים יהיה ראש השנה, אחרי החג תתחיל שנה טובה, ובעקבותיה תבואנה שנים רבות וטובות.**

לוי נלמד ממך אבא אך את הדבר הזה בלבד: להיות מאירי פנים, להיות מחייכים, לא לשכוח אף אחד ולברך באהבה - שנה טובה!

מקורות

צילומי מחקר שימשו תמיד לאבא כלי מעבדתי רב ערך. באמצעותם התבונן בשעתו בתופעות הפיזיקליות שנוצרו ב'אקווריום' הניסיוני שפיתח, בו המתיק מי ים.

לאורך עשרים השנים האחרונות צילמו במכון ויצמן את הרכיבים המקוריים, את המראות הגדולות, את הניסויים עצמם ואת תוצאותיהם. צילומי המחקר נועדו לשם תחקור ותכנון, אבל רבים מהם רחוקים מלהיות צילומים 'טכניים'. הם מתעדים את חוקי הטבע ברגעי הופעתם, את כתמי האור המוחזרים במראות, סופת טורנדו 'בכוס מים'.

תצלומי המיקרוסקופ האלקטרוני היו חביבים עליו ביותר, והוא נהג לעיין בעולמות הנמצאים אלו בתוך אלו, גם אחרי שסיים להפיק מהם את מסקנות הניסוי. פעמים רבות שיתף גם אותנו בפלאים שנגלו לעיניו. בהשראת צילומי המחקר של אבא, ערכנו ספר זה.

חומר רב ערך דלינו מראיון שניתן בתשס"א לאיריס ברליצקי, מהמכון ליהדות זמננו שבאוניברסיטה העברית. בששים עמודי השכתוב, מצאנו תיאור נקודות ציון במהלך חייו של אבא. ההקלטות והשכתוב שמורים במדור לתיעוד בעל פה שבקמפוס הר הצופים, והם עומדים לרשות חוקרים, מורים וסטודנטים.

לפני ארבע שנים סיפר אבא, לפי בקשתי, את קורותיו בשואה. את עדותו הבאנו כאן, ללא ההרחבות ההסטוריות החשובות שהיו בדבריו, על מנת לשמוע - כמהלך אחד - את המסלול שעבר.

לציון יום הולדתו השמונים נערך מפגש באקדמיה הלאומית למדעים. מתוך שכתוב המפגש הבאנו מדבריו ומדברי חבריו.

בתיקיותיו של אבא שמורים מכתבים למאות, מסמכים ותעודות. רק אחדים מתוכם הבאנו בספר.