

ציוד למיזון דשנים וכימיקלים לחקלאות ולתעשייה

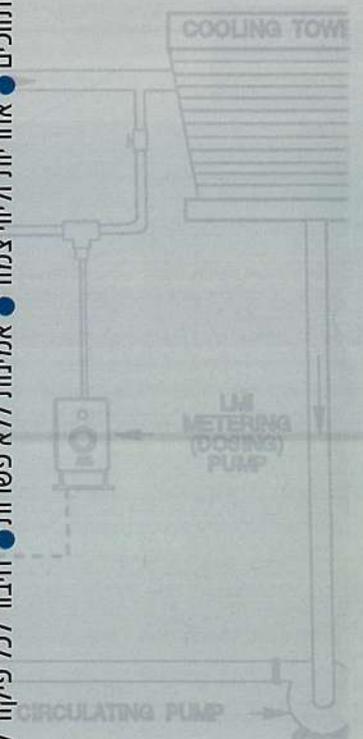


משאבות מיזון חשמליות
בקרי מוליכות EC
בקרי חומציות PH
אלקטרודות
מתמרים

LMI
LIQUID METRONICS DIVISION
MILTON ROY

בר
טכנולוגיות בע"מ

ללא מתוכים • אחריות וליווי צמוד • אמינות ללא פשרות • חיבור לכל פיקוד קיים • אלפי לקוחות מרוצים



בר
טכנולוגיות בע"מ

ת.ד. 917, כפר-שמריהו 46910, טל. 09-9514692, פקס. 09-9514679,
ד. אלקטרוני: yonbarr@netvision.net.il

בטאון החברה הישראלית לכימיה

כאייה בישראל



תמונת שער:
תמונת מיקרוסקופ חודר בכושר הפרדה גבוה (HRTEM) של ננוצינורות של NiC_2 . למעלה - מראה כללי; באמצע - הסידור הגבישי של אטומי הניקל בדופן הננוצינורית; למטה - סימולציה מחשב של הסידור הגבישי של אטומי הניקל. המרחק בין שני אטומי Ni שכנים הינו 0.58nm.

| | |
|----|--|
| 4 | דבר נשיא החברה - ארנון שני |
| | מאמרים מוזמנים |
| 5 | פולרנים איאורגניים |
| | רשף טנא, מכון ויצמן |
| 9 | מעכבי פרטאזות מן הצומח: "אויבים" או "ידידים"? |
| | יהודית ביק, פקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית (פרס ישראל 1998) |
| 16 | כימיות תרופת ה"קופקסון" |
| | רות ארנון ומיכאל סלע, מכון ויצמן (פרס וולף 1998) (באנגלית) |
| | דמויות בחברה הישראלית לכימיה |
| 17 | יהושוע יורטנר, אוניברסיטת תל-אביב - נשיא IUPAC ולשעבר נשיא האקדמיה למדעים |
| 20 | צבי צור, מחלוצי התעשייה הכימית בארץ |
| | על האקדמיה והתעשייה בישראל |
| 22 | מפעל המגנזיום בסדום - טוביה צמר |
| 27 | "יצור" כימאים ותעסוקה - ביצע וביקוש - ארנון שני |
| | כינוסים |
| 30 | הכינוס השנתי ה-64 של החברה הישראלית לכימיה - ב-16-17/3/99, באוניברסיטת בר-אילן |
| 32 | הזמנה לאסיפה הכללית של החברה וד"ח הנשיאות במסגרת הכינוס השנתי |
| 32 | הרצאת אינשטיין ב-15/3/99 באקדמיה הלאומית למדעים |
| | דוח על כינוסים שהתקיימו לאחרונה בארץ |
| 33 | 40 שנה לואן דה גרף במכון ויצמן - יעקב קליין |
| 34 | הכינוס האירופי ה-15 לכימיה בשטחי פנים - שלמה מגדסי |
| 34 | הכינוס השנתי ה-27 של האגודה הישראלית לפולימרים ופולסטיקה - רמון אלבלק |
| 35 | הכינוס השני של האגוד הישראלי לחומרים (אגיל) |
| | חדשות מהאוניברסיטאות |
| 36 | דוקטורט כבוד לפרופסורים ג'אן-מארי לו ודוד בולטימור במכון ויצמן |
| 37 | שמונים שנה לפרופ' ישראל דוסטרובסקי |
| 37 | תערוכה באוניברסיטה העברית: פרופ' ל. פרקש סיפורה של חלוציות מדעית |
| | שנת הכימיה בעולם ובישראל ארנון שני, דפנה מנדלר ושלמה אפרומה |
| 38 | יש לי כימיה עם הכימיה |
| 39 | כימי-דה - אולימפידה לכימיה לבני נוער |
| | לזכרם |
| 41 | פרופ' שלמה אלכסנדר |
| 42 | פרופ' שאול פטאי |
| | סכומים באנגלית |
| 45 | |

חברי הערכת
פרופ' משה לוי, יו"ר, מכון ויצמן למדע, טל: 08-9342120
cplevym@weizmann.weizmann.ac.il
פרופ' מוריס אייזן, הטכניון, טל: 04-8292680
chmoris@technion.technion.ac.il
פרופ' נאוה בן צבי, האוניברסיטה העברית ירושלים, טל: 02-6584492
navabzvi@vms.huji.ac.il
דר' נעם גרינשפון, "כימדע", ניר יצחק, טל: 07-9983423
noam_gr@chemada.co.il
פרופ' חיים כהן, אוניברסיטת בן-גוריון, טל: 07-6567013
hcohen@bgumail.bgu.ac.il
מר משה נולמן, "טבע", פתח-תקוה, טל: 03-9255567
nulman@hotmail.com
דר' מירי קסנר, מכון ויצמן למדע, טל: 08-9343795
nkesner@weizmann.weizmann.ac.il
פרופ' ארנון שני, אוניברסיטת בן-גוריון, טל: 07-6461196
ashani@bgumail.bgu.ac.il

חברי הוועד הפועל של החברה
פרופ' ארנון שני - נשיא, ד"ר אמנון אלבק, פרופ' נאוה בן-צבי,
דר' נעם גרינשפון, פרופ' שמעונה גרש, פרופ' דני הופרט
פרופ' רשף טנא, ד"ר יוחנן לאופולד, פרופ' דן מאירשטיין,
דר' דני מנדלר, ד"ר ישראל שכטר.



המוציא לאור:
שנאר תקשורת בע"מ, רח' ויצמן 55, ת.ד. 21349,
ת"א 61212 טלפון משרד: 03-6959352
דואר אלקטרוני: snercom@internet-zahav.net

דבר נשיא החברה לגיליון הראשון של 'כימיה בישראל'



של התהליך נבחרה חברת "שנאר" להפקת הביטאון. המטרה היא להפיק 4 חוברות בשנה, ולשם כך נבחרה מערכת נמרצת, בראשותו של פרופ' משה לוי ממכון ויצמן למדע. חברים נוספים: ד"ר מוריס אייזן מהטכניון, פרופ' נאוה בן-צבי מהאוניברסיטה העברית, ד"ר נעם גרינשפון מ"כימדע", פרופ' חיים כהן מקמ"ג/אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, מר משה נולמן מ"טבע", ד"ר מירי קסנר ממכון ויצמן למדע ונשיא החברה לכימיה, בתוקף תפקידו.

המערכת של הביטאון כוללת עתה גם את מערכת האתר באינטרנט, וזרימת החומר מכלי אחד למשנהו תכנס בהדרגה לפעולה, משום שהתקשורת הפנימית היא מיידית, ישירה ופועלת כל העת. כך זכינו בשני כלי ביטוי פעילים, מתעדכנים ומתחדשים.

כתובת האתר: <http://www.weizmann.ac.il/ICS>

ברור לכולנו כי המערכת אינה מייצרת חומר בעצמה, אלא יוזמת פעילות ונעזרת בציבור הקוראים והמתעניינים. אין לנו כתבים ועיתונאים שכירים, וכל החומר הנאסף הוא פרי יזמה של המערכת ופרי שיתוף הפעולה של ראשי מחלקות, של פקולטות, של מכונים, של אנשי תעשייה והוראה, ושל כל אחד מכם, הקוראים. לפיכך, אנו פונים אל כל אחת ואחד מכם לתרום חומר מעניין, לגבש הצעות ורעיונות לחומר מערכתי, למדורים חדשים, לתכנים מתחדשים ולכתוב מכתבים למערכת.

רשימת חברי המערכת, מתפרסמת בעמוד הראשון. אתם מתבקשים ליצור עמם קשר ישיר, הן באמצעות הטלפון והן באמצעות הדואר האלקטרוני המצויינים ברשימה. נשמח לשמוע הערות, הצעות ותגובות אחרות. המדור - קוראים כותבים - יפתח מיד לאחר שיתקבל המכתב הראשון במערכת.

**קריאה נעימה!
ארנון שני**

חידוש ביטאון החברה הישראלית לכימיה הוא תהליך הדומה ליצירה מחדש. אמנם הרקע "ההסטורי" קיים, אך דווקא הוא חייב אותנו לעבור מהפך בתפיסת הביטאון.

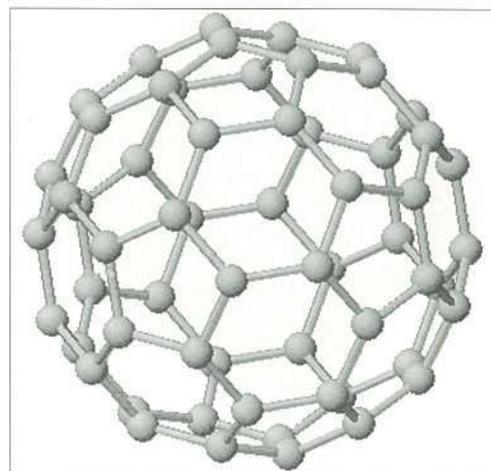
בעבר נהגה החברה להפיק את הביטאון בעצמה, ונטלה על עצמה את כל ההוצאות מהקופה המוגבלת שלה. בשל ההתייקרויות במשך השנים, נסו הוצאות אלה בתקציב השנתי במידה ההולכת וגוברת, עד שלפני שלוש שנים לא עמדה עוד החברה במטלה כספית זו. התוצאה הייתה שחוברת מס. 15 של "הכימאי בישראל" בחודש ינואר 1996 הייתה האחרונה בסדרה.

לאחר הבחירות לוועד הפועל ולנשיאות בחודש מאי 1997, עלתה המחשבה כי אתר באינטרנט יחליף את הביטאון, יהיה עדכני יותר ויכיל גם את חומר המערכת (בעיקר מאמרים) של הביטאון. ואכן הוקמה מערכת לאתר האינטרנט, שהחלה לפעול ב-1998. את התוצאות אפשר לראות בעת האחרונה על צג המחשב. ואולם במשך השנה שחלפה, פנו כמה חברים, והביעו משאלה לחדש את הפקת הביטאון. הרצון לראות את ה-"hard copy", לחוש את ניחוח הנייר, לדפדף בדפים החדשים ולקרוא בנחת בכורסה את דברי החברים - לא פג למרות הזמינות של המחשב. לפיכך, דנו בנושא, מתוך ידיעה כי לא נוכל לחזור על מתכונת העבר. עלה הצורך לשנות את התפיסה, ולהחליט שהביטאון יהיה במתכונת חדשה: אנו נמשיך לספק את החומר לביטאון, אך עלויות ההפקה יועברו לידי גורם חיצוני, והוא ידאג לממן את כל ההוצאות והעלויות באמצעות מודעות, דפי תדמית ופרסומות. ואכן, לאחר שאישר הוועד הפועל גישה זו בחודש יוני 1998, פנינו לכמה גורמים המפיקים חוברות וביטאונימיניהם. בסופו

**הביטאון "כימיה
בישראל" הוא המשכו
הישיר של "הכימאי
בישראל" במתכונת
חדשה.**

הקדמה

בעקבות תגליתם המפתיעה של Curl ו-Smalley, Krotו (חתני פרס נובל לשנת 1996) שפענחו את מבנה מולקולת ה-C₆₀ וכינו אותה בשם בקמינסטר פולרן, או בקיצור 'buckyball'⁽¹⁾, נתגלתה שורה שלמה של מולקולות-על המבוססות על פחמן ואשר להן מבנה גיאודזי, היינו מבנה חלול סגור. מבנה כזה מתקבל למשל על ידי צרוף של 12 טבעות מחומשות ומספר רב יותר של טבעות משושות (במקרה של C₆₀ מספרן 20 ואילו במקרה של C₇₀ מספרן 25). ה-C₆₀ זהה בצורתו לכדורגל רשמי כמצויר בשרטוט 1. הניסוח המתמטי



תמונה 1: תאור סכמטי של מולקולת C₆₀ - בקמינסטר פולרן - המורכבת מ-60 אטומי פחמן.

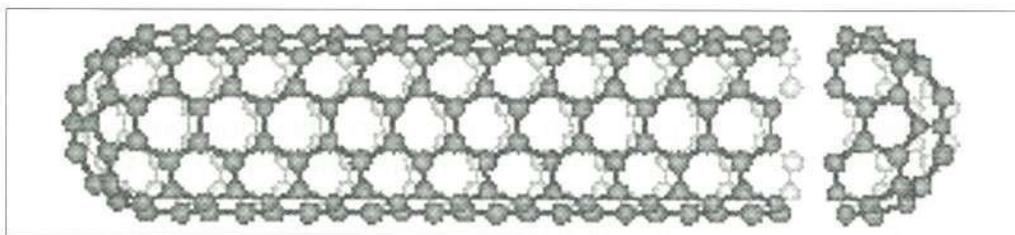
המדויק של מבנים חלולים סגורים נעשה ע"י המתמטיקאי השוויצרי, בן המאה ה-18, אוילר, שקבע כי כדי לסגור מבנה חלול המבוסס על צרוף של טבעות משושות, נדרשות בנוסף לכך 12 טבעות מחומשות. ריצ'רד בקמינסטר פולר, אשר על שמו נקראות מולקולות הפולרן, היה ארכיטקט ומתמטיקאי שתרגם למעשה את משפטו של אוילר לשפת הארכיטקטורה, ובנה מבנים גיאודזים רבים, שהמפורסם שבהם, הינו הביתן האמריקאי בתערוכה העולמית שנערכה בשנת 1967 במונטריאול.

המרוץ המדעי אחרי מולקולת הפולרן

* מאמר זה מוקדש לזכרו של ד"ר לב מרגליס שהיה אתנו בתחילת הדרך בעבודתו החשובה ביחידת המקורוסקופ האלקטרוני.

החל למעשה ב-1990 כאשר Kratschmer et al⁽²⁾ גילו דרך פשוטה להפקת כמויות נכבדות של C₆₀ בעזרת התפרקות של קשת חשמלית דרך אלקטרודות גרפיט. סמוך לאחר מכן, בשנת 1991, פענח המדען היפני הנודע Iijima⁽³⁾ את מבנה הננוצינוריות. הוא קבע כי הננוצינוריות, שעדויות לקיומן קיימות בספרות המדעית מסוף שנות ה-60, הינן למעשה פולרן מוארך. פירושו של דבר שהננוצינוריות מתקבלות על ידי קיפול מישור הגרפיט והוספת חצי כדור פולרני מכל צד של המבנה הצילינדרי באופן שיווצר מבנה חלול סגור (ראה תמונה 2). תגליות אלו הביאו שורה שלמה של תגליות נוספות ומפתיעות ביותר.

שפת החלקיק ולפיכך, הם קשורים לשני אטומי פחמן בלבד. דבר זה גורם ליצירת קשרים בלתי רוויים (dangling bonds) ומערער את יציבות המבנה השטוח של הגרפיט. בהינתן התנאים המתאימים (למשל ע"י חימום), מתארגנים אטומי הפחמן בשילוב של טבעות משושות ומחומשות כך שנוצר מבנה חלול סגור (פולרן) שבו כל הקשרים רוויים. חרף המתח האלסטי הנוצר בשל הכפוף, העובדה שכל פחמן בפולרן קשור לשלושה אטומי פחמן שכנים גורמת לייצוב המבנה הכדורי או הצינורי. בדומה לגרפיט, ה-MoS₂ בנוי כמבנה שכבתי. בין אטומי השכבה המורכבת מסדנויץ' גפרית-מוליבדנום-גפרית, קיימים קשרים קוולנטים Mo-S, אך הכוחות



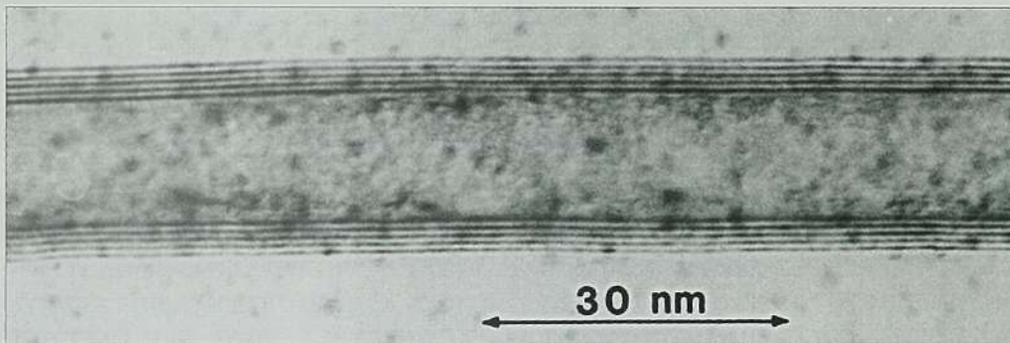
תמונה 2: תאור סכמטי של ננוצינורית פחמן, מטיפוס 'armchair', בעלת תכונות מתכתיות.

דמויי-פולרנים אי-אורגניים

בשנת 1992⁽⁴⁾ העלינו השערה כי המבנים הפולרנים אינם ייחודיים ליסוד הפחמן, אלא הם יכולים להתקיים בחלקיקי ננו של תרכובות כימיות בעלות מבנה שכבתי דו-ממדי דוגמת WS₂ ו-MoS₂. כדי להבין את משמעותה של תגלית זו נשווה בין צורתו של החומר גרפיט ו-MoS₂. הגרפיט בנויה משכבות של פחמן המסודרות זו על גבי זו. כל שכבה מורכבת מטבעות משושות, וכל אטום פחמן קשור לשלושת שכניו בשכבה בקשר SP². בעוד הקשר הכימי בין אטומי הפחמן באותה שכבה הינו חזק ביותר, השכבות השונות מוצמדות אחת לשניה באינטראקציות ואן דר ואלס חלשות. דבר זה גורם ליצירת חומר בעל תכונות לא איזוטרופיות באופן מובנה. כאשר מקטינים את חלקיק הגרפיט לממדים שמתחת למספר אלפי או מאות אטומים, נוצרים חלקיקים קטנים (ננוחלקיקים) אשר בהם אטומים רבים נמצאים על

המצמידים את השכבות (אינטראקציות ואן דר ואלס) הינם חלשים בכשני סדרי גודל מחוזק הקשר הכימי בתוך השכבה. בגלל הקישור הקוולנטי המושלם, אנרגיית השטח של שכבת אטומי הגפרית העליונה נמוכה מאד. באופן די דומה לגרפיט, כאשר יוצרים ננוחלקיקים של MoS₂, כל אטום Mo הנמצא על שפת החלקיק קשור ל-4 אטומי גופרית בלבד (2 במישור מעליו ו-2 במישור מתחתיו) במקום ל-6 אטומי גופרית (3+3) במקרה של אטום Mo במישור אינסופי. השערה זו הביאה אותנו לנסות ולסנתז ננוחלקיקים וננוצינוריות דמויי פולרנים מ-MoS₂ ומ-WS₂^(4,5). חלקיקים אלו כונו על ידינו חלקיקים דמויי פולרן אי-אורגניים-IF. הצלחה ראשונית זו דרבנה אותנו לנסות ולנסח מנגנון לייצור כמויות של חלקיקים מעין אלו. התברר כי סינתזה של חלקיקי IF אפשרית ע"י תהליך שבו נעשית נוקליאציה מהירה של ננוחלקיקים גבישיים של WS₂ או MoS₂ שגידולם נעצר

וכן בתרכובות אי-אורגניות רבות בעלות מבנה שכבתי, טבעות מרובעות ומשולשות הינן חלק אינטגרלי מהמבנה המרחבי של השכבה ולפיכך יהוו נקודות "קיפול" טבעי עבור חומרים אלו. בהסתכלות מפורטת בדגמים שלנו מצאנו עדויות למבנה טטרהדרי (בעל 4 פינות משולשות) - buckytetraheder, וכן מבנה אוקטהדרי בעל שש פינות מרובעות (buckyoctaheder). ממש לאחרונה דיווחו מספר קבוצות על מציאת מבנים אוקטהדריים יציבים ב- MoS_2 ⁽⁸⁾ וכן ב- BN⁽⁹⁾. המבנה האוקטהדרי של MoS_2 מכיל 572 אטומי Mo (ומספר כפול של אטומי גופרית). תיאור סכמטי שלו מובא בציור 4. מבנה סימטרי זה מורכב מצלע בת 12 אטומי Mo ושש טבעות מרובעות בפינות האוקטהדר כנדרש על-פי משפט אוילר.



תמונה 3: קטע מנוצניוריות של MoS_2 שהוכנה בריאקציה בפאזה גאזות בין MoO_3 ו- H_2S .

סימטרי, כך שאם נתאר לעצמנו את שכבת ה- MoS_2 כדף מקופל, הרי שלאחר קיפול, הפינה השמאלית של הדף נוגעת בפינה הימנית. לעומת זאת אם הקיפול יעשה באופן שהפינה המקופלת מצד שמאל לא תיגע בפינה הימנית אלא בנקודה אחרת בצד ימין של הדף תתקבל ננוצינורית בעלת מבנה קירלי. לאבחנה זו בין צינוריות סימטריות לקירליות יש השפעה על התכונות הפיסיקליות וכנראה גם הכימיות של ננוצינוריות, ובעיקר אלו העשויות מפחמן⁽⁷⁾.

בעקבות העבודה שלנו מ-1992, החלו קבוצות רבות לנסות ולייצר פולרנים וננוצינוריות מתרכובות כימיות בעלות מבנה שכבתי. ראשונה ביניהן היתה התרכובת BN - שלה דמיון רב ביותר לפחמן, שכן הבורון נמצא משמאל לפחמן בטבלה המחזורית, ואילו החנקן מימין, כך שניתן להחליף זוגות אטומי פחמן בצמד BN. ואכן ל-BN שני מבנים יציבים מבחינה כימית - המבנה דמוי היהלום שבו קשרי sp^3 והמבנה דמוי גרפיט בעל קשרי sp^2 . כבר בשנת 1993 החלו לטפל באופן תאורטי באפשרות שמולקולות אלו ייצרו מבנים פולרנים, וב-1995 החלו להופיע דיווחים ניסיוניים רבים בספרות על מציאת פולרנים וננוצינוריות מתרכובת זו, וכן מפזות מעורבות של $B_x-C_y-N_{(1-x)}$. לאחרונה התפרסמו דיווחים רבים בספרות המדעית המתארים את הסינתזה של חומרים איאורגניים בעלי מבנה דמוי פולרני מתרכובות שונות בעלות מבנה שכבתי.

כשם ש- C_{60} הינה מולקולת הפולרן הסימטרית וגם החשובה ביותר, כך מחפשים, אנו ואחרים, את מולקולות דמויות-הפולרנים היציבות ביותר, שהן קרוב לודאי גם בעלות הסימטריה הגבוהה ביותר בקבוצה זו של חומרים. כבר ב-1993⁽⁶⁾ העלנו את ההשערה, כי בניגוד למקרה של פחמן, הרי ב- MoS_2 ,

(arrested growth), אם בשל קירור מהיר או בשל ריאקציה כימית וכו'.

במתקן טיפוס לגידול ננוחלקיקי IF של MoS_2 , אבקת ה- MoO_3 עוברת סובלימציה בטמפ' של מעל $650^\circ C$ ונוצרים צברים של $(MoO_3)_n$ בפאזה הגאזית, הנפלטים מצינור דק. בנקודה זו הם נפגשים עם זרם של גז H_2S באווירה מחזרת. בשלב הראשון, שבו החלקיק מוסע ע"י זרם הגז, חלה ראקציה שטח מהירה, שבה נוצרת שכבת סולפיד על פני חלקיק האוקסיד, ובכך מבודדת אותו משאר המערכת, שכן שכבת המוליבדן סולפיד הינה אינרטי לרובי בסביבה מחזרת. מעטפת זו מונעת התלכדות ננוחלקיקים של התחמוצת לממדים מאקרוסקופיים בעלי מבנה מישורי רגיל. לאחר שהננוחלקיק נוחת על מצע הקוארץ, ראקציה השחלוף אוקסיד-סולפיד נמשכת בקצב איטי ומסתיימת לאחר 60 עד 120 דקות. בשיטה זו וכן בשיטות אחרות, אנו מצליחים כיום להפיק כמויות נכבדות של חומרים דמוי-פולרנים וננוצינוריות מ- MoS_2 ו- WS_2 ⁽⁶⁾.

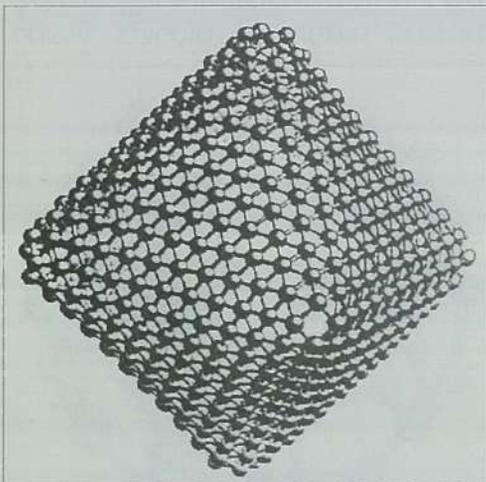
בצילום התקריב של הננוצינוריות, ציור 3, וכן בשימוש בדפרקציה אלקטרונית מתקבל המבנה המדויק של הננוצינוריות. מתברר כי בחלקן נעשה הקיפול באופן

סונתזו ננוחלקיקים

וננוצינוריות

דמויי פולרנים

מ- MoS_2 ומ- WS_2



תמונה 4: תאור סכמטי של מבנה אוקטהדרי של MoS_2 (buckyoctaheder).

לאחר שהצלחנו לסנתז כמויות נכבדות של חומרים דמויי פולרן מ- WS_2 ו- MoS_2 החילוננו במאמץ מרכזי לאפיין חומרים אלו בשיטות פיזיקליות שונות. ראשית מצאנו בעזרת דיפרקציה קרני X (XRD) כי קיימת הגדלה של כ-2% במרחקים הבין-שכבתיים (6.15 \AA) בגביש יחיד של MoS_2 . בהמשך נעשה מחקר מפורט ללימוד התכונות האופטיות של חומרים אלו⁽¹⁰⁾. נמצא כי בדומה לגביש, הננוחלקיקים מטיפוס IF של WS_2 ו- MoS_2 הינם מוליכים למחצה בעלי מבנה אלקטרוני דומה מאד לחומר הגבישי. עובדה זו מפתיעה, שכן המבנה האלקטרוני (ולפיכך גם התכונות האופטיות והאלקטרוניות) של פולרנים וננוצינוריות מפחמן שונה לחלוטין מזה של גרפיט. כן נמצא כי המעברים האופטיים (excitonic bandgaps) של

חלקיקים דמויי-פורלנים בעלי תכונות מגנטיות

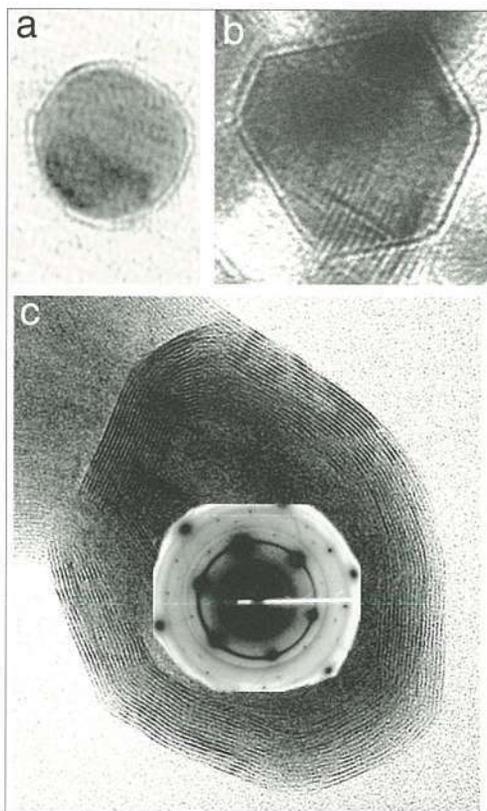
סינתזות של חלקיקים וננוצינוריות דמויי פולרנים אחרים דווחו עבור תרכובות שונות בעלות מבנה שכבתי כגון התחמוצת V_2O_5 ואחרות. לאחרונה הראנו כי ניתן לקבל מבנים דמויי פולרנים, וכן ננוצינוריות, מהתרכובת בעלת המבנה השכבתי $NiCl_2$ ⁽¹³⁾. בניגוד לעבודות קודמות, סינתזת המבנים החלולים הסגורים נעשתה במקרה זה ע"י סובלימציה פשוטה של התרכובת בטמפרטורה של $950^{\circ}C$, וקירור מהיר יחסית של הצברים הנישאים ע"י הגז הנושא (ציור 5). שיטה זו אפשרה לנו לסנתז גם ננוצינוריות, כמודגם בשער החוברת. $NiCl_2$ ותרכובות דומות אחרות הינן בעלות תכונות מגנטיות מעניינות. בחומר הגבישי הדיפולים המגנטיים של ה- Ni פונים לאותו כיוון במישור השכבה (a-b) בטמפרטורות נמוכות. לעומת זאת קיימת אינטראקציה אנטיפרומגנטית חלשה בין הדיפולים של שכבות שכנות, כך שכיוון הדיפולים בכל שכבת $NiCl_2$ מנוגדים לשכבה של $NiCl_2$ שמעליה ומתחתיה. כפי שהראנו, אנו מסוגלים לסנתז מבנים סגורים ננוסקופיים מתרכובת זו בעלות מספר שכבות שונה. מבנה סגור בעל מספר שכבות אי-זוגיות, כמו למשל שכבה אחת, לא יוכל להתנהג כאנטיפרומגנט בטמפרטורות נמוכות ומכאן העניין הרב בננוחלקיקים מסוג זה. אנו מצפים כי נוכל לסנתז ננוחלקיקים מעין אלו בעלי תכונות מגנטיות הנשלטות עפ"י מספר השכבות, קוטר ואורך, וכך להגיע למגנטים מולקולריים בגדלים שונים. לחומרים אלו עשויה להיות חשיבות רבה בתחום הזכרונות המגנטיים וכן בקריאה וכתובה של אינפורמציה בשיטות מגנטואופטיות.

לסיכום

בעבודתנו הראינו כי ניתן לסנתז מבנים חלולים וסגורים מתרכובות אי-אורגניות שונות בעלות מבנה דו-ממדי. קבוצות מחקר שונות החלו לדווח על הסינתזה וכן תכונות מעניינות של חומרים חדשים אלו. במוקד המחקר עומדת שאלת המבנה המפורט של חומרים אלו וכן תכונותיהם המיוחדות ויישומם האפשרי.

הוקרה: ברצוני להודות לתלמידי ישי פלדמן, גיטי פריי, אלה זק, משה הומויופרי, ירון רוזנפלד הכהן וטטיאנה

ישנם יישומים פוטנציאליים לא מעטים. בעבודה מקיפה שערכנו לאחרונה⁽¹²⁾ הראנו כי ניתן להשתמש בהם כחומרי סיכה משובחים. מבלי להיכנס לפרטי מנגנון הסיכוך שאינו ברור עדיין כל צרכו, ניתן לדמיין כי חלקיקים כאלו שלהם אנרגית שטח נמוכה מאד, מתגלגלים באופן חופשי במרווח הצר שבין שני חלקי מתכת הנעים הלך ושוב וכך מקטינים את מידת החיכוך. החלקיקים אף ימנעו מגע פיזי בין שני חלקי המתכת ובכך יקטינו את הבלאי שלהם. עבודה זו זכתה להתעניינות רבה, בין השאר, בקרב תעשיות הרכב, השמנים וכו'. מכיוון ש- WS_2 ותרכובות שכבתיות דומות הינן מוליכים למחצה, ניתן לשפעל אותן ע"י הארה באורך גל בתחום הנראה. לפיכך יתכן וניתן יהיה להשתמש בחומרים אלו כפוטוקטליזטורים לפרוק חומרים המזהמים את הסביבה. יישומים נוספים של ננוצינוריות אי-אורגניות בתחומי הננוטכנולוגיה, כגון, כתיבה וקריאה של אינפורמציה בצפיפות גבוהה, נחקרים כעת במעבדות שונות בעולם.



תמונה 5: תמונת מיקרוסקופ חודר בכושר הפרדה גבוה (HRTEM) של חלקיקי $NiCl_2$ בעלי מבנה סגור. בתמונות a ו-b נראים חלקיקים סגורים בעלי שכבה אטומית אחת שגודלם פחות מ-10nm. בתמונה c נראה חלקיק סגור רב שכבתי וחלול כפי שמוכיחה הדיפרקציה האלקטרונית באמצע החלקיק.

חומרים אלו מראים היסט לאדום בהשוואה לגביש, כלומר סף הבליעה מוסט לאורכי גל ארוכים יותר בהשוואה לגביש. תופעה זו מנוגדת למקרה של ננוחלקיקים של מוליכים למחצה אי אורגניים אחרים, בהם מתקבלת הסחה לכחול (אורכי גל קצרים יותר) כתוצאה מכליאה קוונטית (quantum confinement). בהתאמה לעבודתנו הראו חוקרים מבארקלי⁽¹¹⁾ בעזרת חישובים, כי בננוצינוריות המבוססות על החומר השכבתי GaSe, הדומה במבנהו האלקטרוני ל- MoS_2 , מתקבלת הסחה לאדום כתוצאה מהקיפול של מישור החומר. קיפול זה גורם להשקעת מאמץ בחומר, המביא להסחת המעברים האופטיים לאורכי גל ארוכים יותר, בהשוואה לגביש. לתופעה זו יכולה להיות חשיבות מעשית רבה בעתיד, שכן לראשונה יש בידינו הכלים לשנות את אורך גל הבליעה של חומר מסוים לתחום האינפרה אדום ע"י שליטה בגודל החלקיק ובמידת עקמומיותו. עוד מצאנו כי בננוחלקיקים מטיפוס IF בעלי מספר שכבות קטן (5 ומטה) מתקבלת הסחה לאורכי גל קצרים (הסחה לכחול), כמצופה מכליאה קוונטית חד ממדית (לאורך ציר c), בניצב למישור השכבה. מישור השכבה (a-b) הינו סגור ומחזורי ולכן לא ניתן לצפות לכליאה תלת ממדית של האקסיטונים. אנו רואים איפוא, כי התכונות האלקטרוניות והאופטיות של פולרנים אי-אורגניים, מושפעות ממספר תופעות מנוגדות, ותלויות בגודל החלקיק ומספר השכבות המולקולריות.

שחשבים אפשריים

לחומרים אי אורגניים בעלי מבנה פולרני

מצפים שנוכל

לסנתז מגנטים

מולקולריים בגדלים

שונים מ- $NiCl_2$



רשף טנא

פרופסור מן המניין במחלקה לחומרים ופני שטח, במכון ויצמן למדע, הוא בוגר המכון לכימיה באוניברסיטה העברית.

לאחר הדוקטורט היה

חבר בצוות הטכני של מכון Battelle בז'נבה במשך 3 שנים, שם עסק במכניקה סטטיסטית. ב-1979 הצטרף למכון ויצמן. היה פרופסור אורח בטכניון, ב-CNRS, Meudon (ליד פריז), במכון האן-מייטנר בברלין ובאוניברסיטת טוקיו. שטחי המחקר שלו כוללים תאי שמש פוטואלקטרוכימיים, מוליכים למחצה ופולרנים אורגניים ואי אורגניים.

(מינכן); משרד המדע (מחקרי תשתיות); הקרן הלאומית למדע; קרן בריטניה-ישראל למחקר ופיתוח; קרן ACS-PRF (US), והקרן הדו-לאומית ארה"ב-ישראל.

References

1. H.W. Kroto, J.R. O'Brien, J.R. Heath, R.F. Curl, R.E. Smalley, *Nature*, 318, 162 (1985).
2. W.A. Kratschmer, L.D. Lamb, K. Fostiropoulos, and D.R. Huffman, *Nature*, 347, 354 (1990).
3. S. Iijima, *Nature*, 354, 56-58 (1991).
4. R. Tenne, L. Margulis, M. Genut, and G. Hodes, *Nature*, 360, 444 (1992).
See also write-up in *Scientific American*, p. 24, February (1993).
5. L. Margulis, G. Salitra, R. Tenne, and M. Talianker, *Nature*, 365, 113 (1993).
6. Y. Feldman, E. Wasserman, D.J. Srolovitz, and R. Tenne, *Science*, 267, 222 (1995).
7. M.S. Dresselhaus, *Nature*, 391, 19 (1998).

צירלינה. כמו כן ברצוני להודות ל-Dr. John L. Hutchison, ו-Dr. Jeremy Sloan, מאוניברסיטת אוקספורד על תרומתם החשובה למחקר זה. מחקר זה מומן על ידי קרן מינרבה

8. P.A. Perilla, A.C. Dillon, K.M. Jones, G. Riker, D.L. Schulz, D.S. Ginley, and M.J. Heben, *Nature*, 397, 114 (1999).
9. D. Golberg, Y. Bando, O. Stephan, and K. Kurashima, *Appl. Phys. Lett.*, 73, 2441 (1998).
10. G.L. Frey, S. Elani, M. Homyonfer, Y. Feldman, and R. Tenne, *Phys. Rev. B*, 57, 6666 (1998).
11. M. Cote, M.L. Cohen, and D.J. Chadi, *Phys. Rev. B*, 58, R4277 (1998).
12. L. Rapoport, Yu Billik, Y. Feldman, M. Homyonfer, and R. Tenne, *Nature*, 387, 791 (1997).
13. Y. Rosenfeld Hacothen, E. Grunbaum, R. Tenne, J. Sloan, and J.L Hutchison, *Nature*, 395, 336 (1998).

מבוא

חלבונים מעכבי פרוטאזות נפוצים בעולם הצומח במשפחות בוטניות שונות. הם מעכבים באופן ספציפי אנזימים פרוטאוליטיים, במקום לשמש להם סובסטרט. מקורם העיקרי הוא הזרע, אך הם מצויים גם בעלים ובפקעות. רובם מעכבים סרין-פרוטאזות ומשקלם המולקולרי נע בין 3000 ל-30000 Da. הם סווגו ל"משפחות מעכבים" על פי הומולוגיה של רצף חומצות אמינו, הגדרת אתר העיכוב והאינטראקציה עם פרוטאז המטרה, בהתאם למנגנון הקרוי Standard Mechanism. מעכבי הסרין-פרוטאזות נבדלים בספציפיות העיכוב, רובם מעכבים טריפסין וחלקם גם כימוטריפסין. משמעותם הפיסיולוגית בצמח טרם הובהרה. העובדה שמעכבי פרוטאזות מפולי סויה ומזרעי חיטה מעכבים את ההתפתחות ואת פרוטאזות מערכת העיכול של מספר חרקים מזיקי אסם כגון Tribolium היא ביסוד ההנחה שהמעכבים התפתחו כמנגנון התגוננות של הצמח בפני מזיקים, ומשמשת בסיס להחדרת מעכבי פרוטאזות לצמחים על ידי הנדסה גנטית (נסקר, 1998, Birk, 1987). בנוסף לנוכחותם הטבעית של המעכבים בזרע, אובחנה "תגובה חיסונית" (immune response) של הצמח על ידי היווצרות והצטברות של מעכבים בעלים של תפוחי אדמה ועגבניות, בעקבות פציעה או התקפה של חרקים (Ryan, 1983).

העניין במעכבי פרוטאזות מן הצומח כגורמים אנטי-תזונתיים (ANFs), (Anti-Nutritional Factors) מקורו בניסויים בבעלי חיים אשר ניזונו על חלבון סויה גולמית (השארית עתירת החלבון לאחר הרחקת השמן). נמצא שהזנה בסויה שלא חוממה כראוי, גורמת לדיכוי הגדילה של חיות הניסוי ולהגדלת הבלב. תופעות אלו יוחסו במשך עשרות בשנים לחלבונים מעכבי-טריפסין שבסויה, הנהרסים בעת החימום. מאידך, מחקרים אפידמיולוגיים זיהו חלבוני קטניות כגורמים אפשריים בתפוצה הנמוכה של סרטן השד, המעי הגס והבלוטה הערמונית באוכלוסיות הניזונות על חלבונים מן הצומח. מחקרים אלו הצביעו על מעכבי הפרוטאזות כגורמים אפשריים

במניעת סרטן והולידו שורה של מחקרים בהם הוכחה פעילותם האנטי-סרטנית in vivo-¹ in vitro (Kennedy et al., 1996); נסקר (Troll and Kennedy, 1993).

הפוטנציאל הגלום במעכבי פרוטאזות במניעה של תהליכים פיסיולוגיים בלתי רצויים מהווה כיום מנוף לאיתור ואפיון מעכבי פרוטאזות חדשים ולביטוי מעכבים באמצעות הנדסה גנטית (Birk, 1998). מאמר זה ידון בהיבטים השונים של ההרכב והמבנה של מעכבי פרוטאזות מן הצומח, במשמעותם בתזונה, ובהשלכותיהם על רפואה מונעת ועל הגנת הצומח בפני מזיקים.

מעכבי הסרין-פרוטאזות

מבין מעכבי הפרוטאזות החלבוניים שנחקרו, מעכבי הסרין-פרוטאזות זכו לתשומת הלב הרבה ביותר. הם בדרך כלל מעכבים תחרותיים, היוצרים קומפלקסים סטויכיומטריים עם האנזימים אותם הם מעכבים. קומפלקסים אלו הם מאוד יציבים (Kassoc. = 10⁸-10¹³M⁻¹) והם חסרי כל פעילות אנזימטית. מחקרים בקריסטלוגרפיה של קרני X וב-NMR הראו שבקומפלקס אנזים-מעכב 10-15 שיירים של חומצות האמינו של המעכב נמצאות במגע עם האנזים.

האתר הראקטיבי של המעכב

האתר הראקטיבי או אתר העיכוב מוגדר כחלק של מולקולת המעכב הנמצא במגע מולקולרי ישיר עם האתר הפעיל של הפרוטאז, בעקבות יצירת הקומפלקס

פרוטאז-מעכב. באתר הראקטיבי של המעכב שוכנת חומצת אמינו שמוכרת באופן ספציפי על ידי אתר הקשירה הראשי של פרוטאז המטרה. זוהי חומצת אמינו המכונה P₁ (Fig. 1), לפי Schechter and Berger (1967). בסמוך ל-P₁ שוכן שייר חומצת האמינו P₁'. הקשר הפפטידי המחבר שתי חומצות אמינו אלו נקרא "האתר הראקטיבי" (The Reactive Site) והוא ניתן להידרוליזה במהלך היווצרות הקומפלקס פרוטאז-מעכב. רוב המעכבים החלבוניים נבדלים מרוב הסובסטרטים בכך שהאתרים הראקטיביים מוחזקים בתוך גשרים די-סולפידיים. לאחר ההידרוליזה של הקשר הפפטידי באתר הראקטיבי, המעכב שעבר מודיפיקציה נשאר עדיין פעיל כמו בצורתו הטבעית, ללא שינוי בקונפורמציה (Fig. 1).

מנגנון העיכוב

(The Standard Mechanism)

רוב מעכבי הסרין-פרוטאזות שנחקרו מגיבים עם הפרוטאזות על פי ה-Standard Mechanism שהוצע על ידי Laskowski Jr. (נסקר, 1980) (Laskowski and Kato, 1980) עבור מעכב הטריפסין מסויה (Soybean Trypsin Inhibitor, STI) שבודד ואופיין על ידי Kunitz (Fig. 2).

למעכבים אלו ספציפיות גבוהה לפרוטאזוליזה מוגבלת על ידי פרוטאזות המטרה. כך למשל, הפעלת כמויות קטליות של טריפסין על STI בתנאים חומציים גורמת להידרוליזה ספציפית של

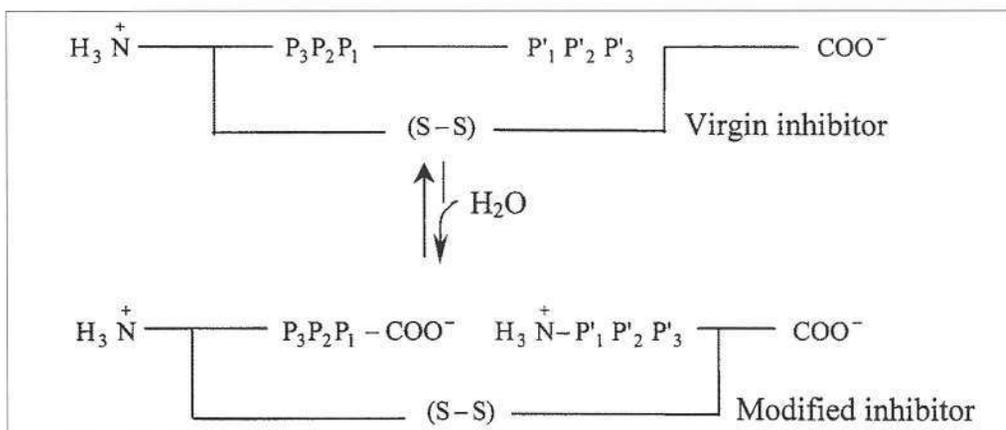


Fig. 1. A schematic diagram of a reactive site of proteinaceous protease inhibitor of serine proteases.

מהם אתר עיכוב משלו. הוא מכונה "דו-ראשי" ושני אתרי העיכוב מרוחקים זה מזה.

BBI יוצר קומפלקס סטויכיומטרי עם טריפסין או כימוטריפסין וקומפלקס משולש עם שניהם. הוא מעכב טריפסין וכימוטריפסין ממערכת העיכול של בעלי חיים שונים, וכן של החרקים Tribolium, Locusta-tenebriו. BBI עמיד לאנזימים פרוטאוליטיים, לרבות פפסין ופרונז. מודיפיקציות ספציפיות של אחד משני אתרי העיכוב הפכות את BBI ממעכב דו-ראשי לחד-ראשי, עם ספציפיות עיכוב אחת ללא השניה. חיתוך של BBI באמצעות CNBr ליד המתאיאון היחיד (בעמדה 27) ולאחר מכן הפעלת פפסין מאפשרת ביקוע של BBI לשני חלקים: האחד מעכב טריפסין והשני כימוטריפסין (Fig. 4). מעכבים הומולוגיים ל-BBI בודדו בין היתר מפולי לימה, אפונה, אגוזי אדמה, חמוס ולאחרונה גם מנבטי חיטה ואורז (נסקר, 1985; 1989; Birk, 1985). מעכבים דו-ראשיים עם הומולוגיה גבוהה ל-BBI עשויים להיות בעלי אורינטציה מרחבית שונה, דוגמת המעכב מחמוס (CI) המעכב טריפסין וכימוטריפסין, אך שני קדקודי העיכוב קרובים זה לזה ומאפשרים יצירת קומפלקס סטויכיומטרי עם טריפסין או עם כימוטריפסין, אך לא עם שניהם (Smirnoff et al., 1979).

משפחת המעכבים מתפוחי אדמה. מספר רב של מעכבי פרוטאזות בודדו מתפוחי אדמה וצמחים קרובים ונחקרו באינטנסיביות על ידי C.A. Ryan ושות' (נסקר, 1981; Ryan, 1981). המעכבים Inhibitor I ו-Inhibitor II הם בעיקרם מעכבי כימוטריפסין, אך מעכבים גם טריפסין. משקלם המולקולרי הוא בסביבות 40000 והם סטרמרים העשויים מארבע

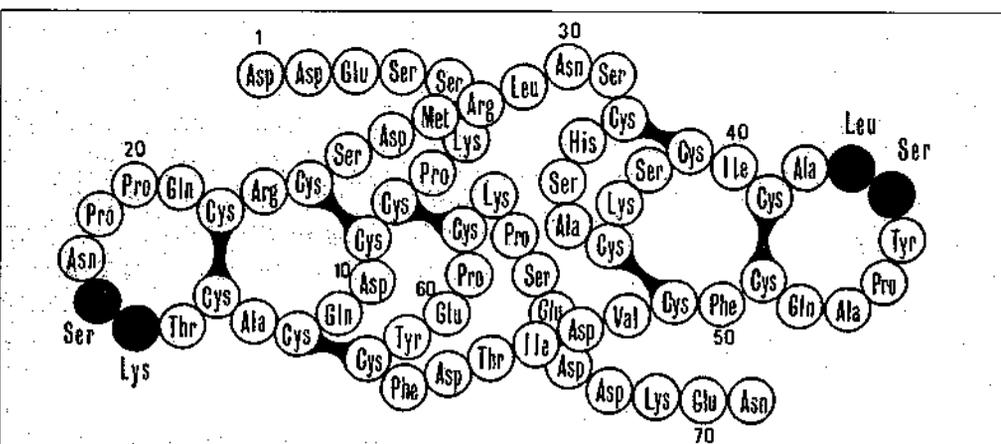


Fig. 3. Amino acid sequence of the Bowman-Birk soybean trypsin and chymotrypsin inhibitor (BBI).

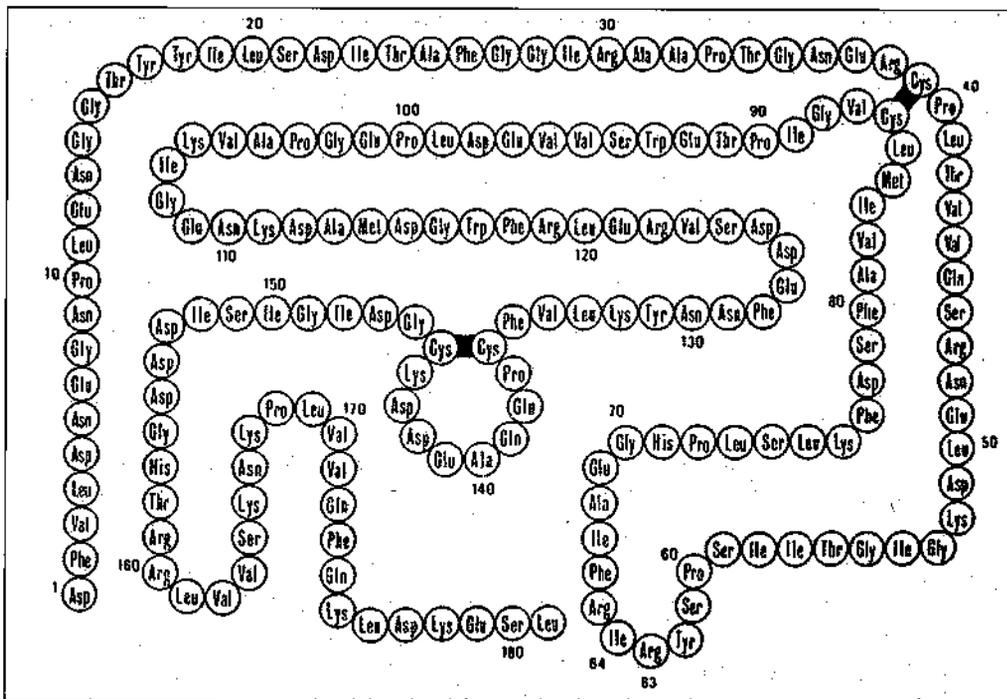


Fig. 2. Amino acid sequence of the Kunitz soybean trypsin inhibitor (STI).

הקומפלקס שלו עם טריפסין מהווים ציון דרך חשוב ביותר בחקר מעכבי פרוטאזות החלבונים (Kunitz, 1947a,b). ל-STI משקל מולקולרי של כ-21000Da והוא עובר אינאקטיבציה בחום. הוא שימש מודל למחקרים על אינטראקציה חלבון-חלבון ונחקר רבות במעבדות שונות (נסקר, 1987; Birk, 1987; Kassell, 1970). מעכבים הומולוגיים ל-STI נמצאו במקורות בודדים אחרים.

משפחת ה-Bowman-Birk (BBI) Inhibitor protease מהווה אב-טיפוס למשפחת מעכבים המצויים בכל זרעי הקטניות שנחקרו עד כה (נסקר, 1985, 1987, 1989, 1993; Birk, 1985). ל-BBI משקל מולקולרי של כ-8000 Da ותכולה גבוהה של שיירי ציסטין היוצרים שבעה גשרים די-סולפידיים (Fig. 3). המעכב מורכב משני אזורים הומולוגיים על אותה שרשרת פפטידית ולכל אחד

קשר פפטידי אחד ויחיד - הקשר הפפטידי באתר הראקטיבי, המזוהה כ-Arg63-Ile64 במעכב STI-1 (Fig. 2). (Modified inhibitor) שעבר מודיפיקציה (Fig. 1) מלוא כושר העיכוב של STI נטיבי והוא יוצר אותו קומפלקס יציב של פרוטאז-מעכב. הרחקת חומצת האמינו ה-COOH-סופית או ה-NH2-סופית החדשה שנוצרה, כלומר, הרחקת P₁ או P₁' (Fig. 1) מביאה לביטול כושר העיכוב.

משפחות מעכבי הטרין-פרוטאזות

מאות מעכבי הטרין-פרוטאזות שאותרו עד כה סווגו ל"משפחות" של מעכבים על פי הומולוגיה של רצף חומצות אמינו. הגדרת אתר העיכוב והאינטראקציה עם פרוטאז המטרה בהתאם Standard-Mechanism7 רשימת מעכבי הטרין-פרוטאזות נתונה בטבלה 1.

Table 1. Families of plant protein inhibitors of serine proteases.

| |
|---|
| Soybean trypsin inhibitor (Kunitz) family |
| Soybean protease inhibitor (Bowman-Birk) family |
| Potato I inhibitor family |
| Potato II inhibitor family |
| Squash inhibitor family |
| Barley trypsin inhibitor family |
| Other families |

משפחת ה-Kunitz soybean (STI)-trypsin inhibitor

הוא מעכב הפרוטאז הראשון מן הצומח שבודד מפולי סויה ואופיין (Fig. 2). ניקוי, גיבוש, אפיון, קביעת קינטיקת העיכוב ויצירת

הזנה דומים בסויה בלתי מחוממת שהורחקו ממנה המעכבים התבטאו בעיכוב גדילה דומה לזה שנגרם סויה גלמית. המסקנה הרווחת כיום היא שאין המעכבים אחראים לעיכוב הגדילה הנגרם על ידי הזנה בסויה גלמית ושהחימום דרוש לצורך דנטורציה של כלל חלבוני הסויה, ההופכת אותם לזמינים לאנזימים של מערכת העיכול.

אשר להשפעת המעכבים על הפנקראס ניסויי הזנה בסויה בלתי מחוממת ובמעכי טריפסין מסויה גורמים להגדלת הבלב במספר חיות ניסוי כגון עכברים, חולדות, אוגרים ועופות, אך לא בכלבים, חזירים, עגלים ובקופים גם בניסויים ארוכי-טווח של מספר שנים. ההגדלה האמורה של הבלב אצל החולדות או העופות שניזונו על סויה גלמית נובעת מסינתזה מוגברת של טריפסינוגן וכימוטריפסינוגן תופעה שלא נמצאה אצל החולדות והעופות שניזונו על סויה מחוממת. העובדה שהוספת BBI מודיפיקטיבי, בו נוטרל אתר עיכוב הטריפסין על ידי סוקסילניציה של Lys 16 ולחליפין קומפלקס סטויכיומטרי של BBI+טריפסין בו מוסך אתר עיכוב הטריפסין, למזונם של העופות או החולדות שניזונו על סויה מחוממת לא גרם להגדלת הבלב, מעידה שאתר עיכוב הטריפסין במעכבים אחראי להשפעה על הבלב. הגדלת הבלב באמצעות מעכי טריפסין מוסברת על ידי מנגנון הרגולציה של הפרשות הפנקראס. הטריפסין והכימוטריפסין החופשיים במעי מבקרים את רמת ההפרשות הפנקראטיות וגודל הפנקראס על ידי negative feedback inhibition המתווך על ידי *holecystokinin-pancreozimin*, הידוע ביכולתו לזרז הפרשה פנקראטית ולגרם להיפרטרופיה של הפנקראס (נסקר, Birk, 1989, 1993).

מעכי פרוטאזות וסרן

בעקבות הממצא שהזנה ממושכת של חולדות-זכרים מזן Wistar בסויה גלמית האיצה את פעולתו המסרטנת של הקרצינוגן הפנקראטי *azaserine* (Morgan et al., 1977) והשימוש הגובר והולך בתכשירי סויה, לרבות תחליפי חלב לתינוקות, יזם משרד החקלאות של ארה"ב (USDA) מחקר ארוך-טווח על הנושא. במחקר זה, הקרוי "The USDA trypsin inhibitor study",

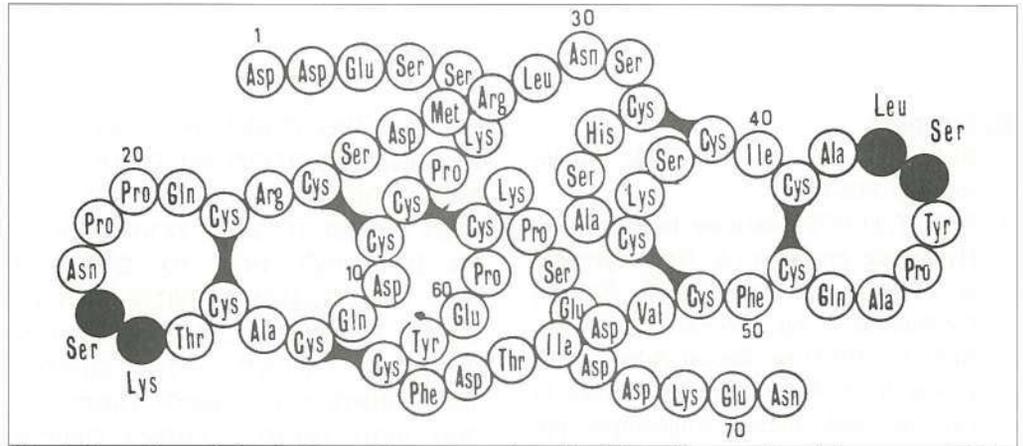


Fig. 4. Sites of peptide bond cleavage by cyanogen bromide followed by trypsin and the structure of the two active fragments of the Bowman-Birk inhibitors.

משמעותם בתזונה נחקרה רק מעט ועצמת העיכוב שלהם נמוכה יחסית בהשוואה לזרעי קטניות. כאב טיפוס למעכבים אלו משמש מעכב הטריפסין משעורה. משקלו המולקולרי כ-13000 Da ולו שבעה גשרים די-סולפידיים ואתר עיכוב ב-Arg33-Leu34.

מעכב דו-ראשי לטריפסין וכימוטריפסין, עמיד לחימום, בודד מזרעי אמרנטוס ואינו שייך לאף אחת ממשפחות המעכבים המוכרות (Tamir et al., 1996).

מעכבים מזרעי קטניות ותזונה

התפוצה הרחבה של מעכי פרוטאזות במזון העלתה סימני שאלה לגבי השפעתם האפשרית של המעכבים על הערך התזונתי של חלבונים מן הצומח בכלל, של זרעי קטניות בפרט ובראש וראשונה של פולי סויה להם תפקיד ראשון במעלה בהזנת בני אדם וחיות המשק. התגלית של STI של מעכב הטריפסין התרמולבילי בסויה גלמית, הביאה למסקנה שהוא הגורם העיקרי לערכה התזונתי הירוד של סויה גלמית ושהאיכות התזונתית המשופרת של סויה מחוממת נובעת מהאינאקטיבציה של המעכבים. הזמינות של STI ו-BBI שני מעכי הטריפסין האופייניים שבודדו מפולי סויה אפשרה לחקור את השפעת המעכבים כשלעצמם על הגדילה ועל הבלב של חיות הניסוי (נסקר, Birk, 1985, 1989).

האם המעכבים הם גורמים אנטי-תזונתיים?

בניסויים בחולדות ועופות שהוזנו בסויה מחוממת כהלכה, בתוספת STI, BBI או שניהם, לא נמצאה ירידה משמעותית בקצב הגדילה של חיות הניסוי בהשוואה לקצב הגדילה הירוד של חיות הניסוי על סויה גלמית, אך המעכבים נמצאו אחראים להגדלת הבלב. מאידך, ניסויי

תת-יחידות הומולוגיות בעלות משקל מולקולרי של כ-10000 Da כל אחת. כן מצוי בתפוחי אדמה מעכב לאנזימים הפנקראטיים קרבוקסיפפטידז A ו-B מבעלי חיים שונים. משקלו המולקולרי 4300 Da והוא עמיד לחום (Pearce and Ryan, 1983).

משפחת ה-Squash inhibitors. מעכי

משפחה זו מקורם בזרעי דלועיים למיניהם, לרבות מלפפונים ולהם זיקה חזקה לטריפסין ($K_{assoc} \sim 8 \times 10^{11} M^{-1}$) באמצעות אתר העיכוב Arg5-Ile6. הם מצטיינים במשקל מולקולרי נמוך (כ-3000 Da) ועשויים משרשרת פפטידית אחת בגישור תוך-מולקולרי של שלושה קשרים דיסולפידיים (Wieczorek et al., 1985).

משפחת המעכבים מזרעי דגן. מספר

רב של מעכי פרוטאזות הומולוגיים נמצאו בזרעי דגן כגון חיטה, שעורה, שיבולת שועל, תירס, אורז, דרוז ועוד.

הפוטנציאל הגלום

במעכי פרוטאזות במניעה

של תהליכים פיסיוולוגיים

בלתי רצויים מהווה כיום

מנוף לאיתור ואפיון מעכי

פרוטאזות חדשים ולביטוי

מעכבים באמצעות

הנדסה גנטית

References

1. Birk, Y. (1985) *Int. J. Peptide Protein Res.* 25: 113-131.
2. Birk, Y. (1987) *Proteinase Inhibitors. In: Hydrolytic Enzymes* (A. Neuberger and B. Brocklehurst, eds.) Elsevier Science Publisher B.V., pp. 257-305.
3. Birk, Y. (1989) *In: Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds.* Pudoc, Wageningen, pp. 83-94.
4. Birk, Y. (1993) *In: Protease Inhibitors as Cancer Chemopreventive Agents* (W. Troll and A.R. Kennedy, eds.), pp. 97-106.
5. Birk, Y. (1998) *Protein protease inhibitors: reflections on their net beneficial effects. In: Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds and Rapeseeds.* Wageningen, Pers, Wageningen Publication No: 93, pp. 137-141.
6. Chestrony, A., Birk, Y. and Shapira, R. (1999) (submitted).
7. Gumbman, M.R., Spangler, W.L., Dugan, G.M., Rackis, J.J. and Liener, I.E. (1985) *Qual. Plant Foods. Hum. Nutr.* 35: 275-314.
8. Kassell, B. (1970) *Methods Enzymol.* 19: 839-906.
9. Kennedy, A.R., Beazer-Barcley, Y. Kinzler, K.W. and Newberne, P.M. (1996) *Cancer Research* 56: 679-682.
10. Kunitz, M. 1947a. *J. Gen. Physiol.* 30: 291-310.
11. Kunitz, M. 1947b. *J. Gen. Physiol.* 30: 311-320.
12. Laskowski, M. Jr. and Kato, I. (1980) *Protein Inhibitors of Proteinases.* Ann.

נעשו בעלי חיים קטנים שצרכו כמויות גדולות יחסית של מרכיב מזון מסוים על פני תקופה ארוכה מציאות שונה לחלוטין מהרגלי האכילה וצריכת המזון של האדם. מן הראוי לציין גם את ההבדלים הבולטים בתגובות של בעלי חיים שונים למעכבי הפרוטאזות במזונם. לאחרונה חלה תפנית משמעותית בהתייחסות למעכבי הפרוטאזות לאור שימושם האפשרי במניעת סרטן ואולי אף בהורדת המימון של התרופות הקונבנציונליות. כן יש להתייחס לניצולם האפשרי בהדברה ביולוגית באמצעות החדרתם לצמחים על ידי הנדסה גנטית מבלי לפגוע באיכות הסביבה.

Rev. Biochem. 49: 593-626.

13. Liener, I.E. and Hasdai, A. (1986) *In: Nutritional and toxicological significance of enzyme inhibitors in foods* (M. Friedman, ed.), Plenum, pp. 189-197.
14. Morgan, R.G.H., Levinson, D.A., Hopwood, D., Saunders, J.H.B. and Wormsley, K.G. (1977) *Cancer Lett.* 3: 87-90.
15. Pearce, G. and Ryan, C.A. (1983) *Anal. Biochem.* 130: 223-225.
16. Ryan, C.A. (1981) *In: The Biochemistry of Plants: A Comprehensive Treatise,* Academic Press, Vol. 6, pp. 351-371.
17. Ryan, C.A. (1983) *Insect-induced chemical signals regulating natural plant protection responses. In: Variable Plant and Herbivores in Natural and Managed System* (R.F. Denno and M.S. McClure, eds.), Academic Press, pp. 43-60.
18. Schechter, I. and Berger, A. (1967) *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 27: 157-162.
19. St. Claire, W.H., Billings, P.C., Carew, J.A. et al. (1990) *Cancer Res.* 50: 580-586.
20. Smirnov, P., Khalef, S., Birk, Y. and Applebaum, S.W. (1979) *Int. J. Peptide Protein Res.* 14: 186-192.
21. Tamir, S., Bell, J., Finlay, T.H., Smirnov, P. and Birk, Y. (1996) *J. Protein Chem.* 15: 219-229.
22. Troll, W. and Kennedy, A.R. (eds.) (1993) *Protease Inhibitors as Cancer Chemopreventive Agents.* Plenum Press, 315 pages.
23. Wieczorek, M., Otlewski, J., Cook, et al. (1985) *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 126: 646-652.

במשך שנתיים חולדות-זכרים מזן Wistar בחלבוני סויה גלמית. בתום הניסוי נמצא שהחולדות פיתחו nodular hyperplasia acinar adenoma-I של הפנקראס (Gumbmann et al., 1985). אולם, ניסויים דומים, ארוכי-טווח, בעכברים ואוגרים לא הביאו לשינויים סרטניים בפנקראס. יתרה מזאת, להזנה בסויה הגלמית נמצאה השפעה מגינה כנגד אינדוקציה כימית של גידולים באוגר (Liener and Hasdai, 1986). הממצאים האפידמיולוגיים אשר זיהו קטניות כגורמים מגינים אפשריים בפני התפתחות של סרטן השד, המעי הגס והבלוטה הערמונית, הביאו לשורה של מחקרים על מעכבי פרוטאזות מן הצומח כגורמים מונעי סרטן. רוב המחקרים התמקדו ב-BBI והוכח שהוא מונע או מצמצם סוגים שונים של טרנספורמציות מליגניות של תרביות תאים ושל גידולים בחיות ניסוי (נסקה, BBI (Troll and Kennedy, 1993). בין היתר, נמצא אפקטיבי בדיכוי סרטן המעי הגס והכבד בחולדות שעברו אינדוקציה על ידי הקרצינוגן די-מתיל-הידרזין (Kennedy et al., 1996; St. Claire et al., 1990).

הנדסה גנטית של מעכבי פרוטאזות

התכונות האנטי-סרטניות של מעכבי פרוטאזות ותפקידם בהגנת הצומח בפני מזיקים עודדו את הסינתזה של מעכבים באמצעות ביולוגיה מולקולרית לצורך החדרתם כמנגנוני התגוננות בצמחים ולפיתוחם כחומרים אנטי-סרטניים. לצורך סינתזת BBI סונתזו הגן המקודד ל-BBI fusion-protein עם גלוטטיין-S-טרנספראז (GST) המולקולה הכימית שובטה וביטא-גלוטטיין-ה-BBI הופרד מה-GST על ידי תהליך שאחר שלמעלה מ-90% של ה-BBI-GST שקע ב-inclusion bodies, פתח פתחוקה לחילוף BBI פעיל למקום המיועד BBI בוטא בהצלחה גם במערכת השמרי *Pichia pastoris*, כצעד ראשוני במטרה לשמרי מאכל (Chestrony et al., 1999).

התהליך המכיל פרוטאזות ממקור צמחי עם מעכבי השובת משמעותי של המזון. השימוש בתהליך זה יכול לבריאות הוא לרוב משיעור ישי למקומו בפרספקטיבה היבטית. החיסל לפנות מעכבי הפרוטאזות ביצאה האמנות רוב המחקרים in vivo

פרופ' יהודית בירק

יהודית בירק קיבלה דוקטורט בביוכימיה מהאוניברסיטה העברית בירושלים, ב-1964. מאז 1966 היא ניהלה חקלאות ברחובות, שבה היא מכהנת כפרופסור לביוכימיה חקלאית. פרופ' בירק ייסדה את בית הספר למדעי התזונה, היתה דיקן הפקולטה לחקלאות, וכן פרז-ורקטור ורקטור בפועל באוניברסיטה העברית. שטחי התענינותה כוללים, מחקר על מטבוליטים משניים מזרעי ירקות, ובמיוחד מהמעכב הקרא על שמה "באומן-בירק", במנגנוני התנגדות טבעיים לחרקים בזרעי ירקות, וכן בשימוש בפרוטאזות

- [7] M. Sela, R. Arnon, Biochim. Biophys. Acta **1960**, 40, 382.
- [8] M. Sela, Acta Polym. **1998**, 49, 523-525.
- [9] M. Sela, Science **1969**, 166, 1365.
- [10] H.O. McDevitt, M. Sela, J. Exp. Med. **1965**, 122, 517.
- [11] H.O. McDevitt, M. Sela, J. Exp. Med. **1967**, 126, 969.
- [12] M. Sela, B. Schechter, I. Schechter, F. Borek, Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. **1967**, 32, 537.
- [13] M. Sela, Bull. Inst. Pasteur **1974**, 72, 73.
- [14] M. Sela, R. Arnon, Vaccine **1992**, 10, 991.
- [15] D. Teitelbaum, M. Sela, R. Arnon, Israel J. Med. Sci. **1997**, 33, 280.
- [16] C.M. Shaw, E.C. Alvord, W.J. Fahlberg and M.W. Kies, J. Immunol. **1962**, 89, 54.
- [17] D. Teitelbaum, A. Meshorer, T. Hirshfeld, R. Arnon, M. Sela, Eur. J. Immunol. **1971**, 1, 242.
- [18] M. Sela, R. Arnon, D. Teitelbaum, Bull. Inst. Pasteur **1990**, 88 303.
- [19] D. Teitelbaum, R. Aharoni, M. Sela, R. Arnon, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **1991**, 88, 9528.
- [20] C. Webb, D. Teitelbaum, R. Arnon, M. Sela, Eur. J. Immunol. **1973**, 3, 273.
- [21] C. Webb, D. Teitelbaum, A. Herz, R. Arnon, M. Sela, Immunochemistry **1976**, 13, 333.
- [22] M.B. Bornstein, A. Miller, S. Slagle, M. Weitzman, H. Crystal, E. Drexler, M. Keilson, A. Merriam, S. Wassertheil-Smoller, V. Spada, W. Weiss R. Arnon, I. Jacobsohn, D. Teitelbaum, M. Sela, New England J. Med. **1987**, 317, 408.
- [23] M.B. Bornstein, A. Miller, S. Slagle, M. Weitzman, E. Drexler, M. Keilson, V. Spada, W. Weiss, S. Appel, L. Roolak, Y. Harati, S. Brown, R. Arnon, I. Jacobsohn, D. Teitelbaum, M. Sela, Neurology **1991**, 41, 533.
- [24] K.P. Johnson, B.R. Brooks, J.A. Cohen, C.C. Ford, J. Goldstein, R.P. Lisak, L.W. Myers, H.S. Panitsch, J.W. Rose, R.B. Schiffer, T. Vollmer, L.P. Weiner, J.S. Wolinsky and The Copolymer 1 Multiple Sclerosis Study Group, Neurology **1995**, 45, 1268.
- [25] K.P. Johnson, J. Neurol. **1996**, 243 S32.
- [26] Z. Lando, D. Teitelbaum, R. Arnon, J. Immunol. **1979**, 132, 2156.
- [27] R. Aharoni, D. Teitelbaum, R. Arnon, Eur. J. Immunol. **1993**, 23, 17.
- [28] R. Aharoni, D. Teitelbaum, M. Sela, R. Arnon, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **1997**, 94, 10821.
- [29] D. Teitelbaum, R. Aharoni, R. Arnon, M. Sela, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **1988**, 85, 9724.
- [30] D. Teitelbaum, R. Milo, R. Arnon, M. Sela, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **1992**, 89, 137.
- [31] M. Fridkis-Hareli, D. Teitelbaum, E. Gurevich, I. Pecht, C. Brautbar, O.J. Kwon, T. Brenner, R. Arnon, M. Sela, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **1994**, 91, 4872.
- [32] R. Aharoni, D. Teitelbaum, R. Arnon and M. Sela. Proc. Natl. Acad. Sci (in press)



Ruth Arnon

1955 M.Sc. Chemistry, from the Hebrew University, Jerusalem; 1960 - Ph.D., Hebrew University, (work carried out at the Weizmann Institute).

Since 1960 Department of Immunology, The Weizmann Institute of Science, 1985-1993: Dean of the Faculty of Biology; 1988-1993: Vice-President; 1995-1997: Vice-President for International Scientific Relations.

Positions in Scientific Bodies: WHO Task

Force on Immunological Methods for Fertility Control (Steering Committee)1972-1977; President of European Federation of Immunological Societies (IUIS) 1989-1993, Elected Member of EMBO. Chairman of the Science Division of the Israel Academy of Science and Humanities (1995-present).

Prizes include Robert Koch prize in Medical Sciences (Germany); Jimenez Diaz Award (Spain); Chevalier of l'Ordre de la Legion d'Honneur, (France); Hadassa Women of Distinction Award; Wolf Prize (Israel); Rothschild Prize (Israel).

Published more than 400 articles, chapters and books in the field of Immunology and Biochemistry.



Michael Sela

1946-M.Sc., Chemistry, Hebrew University, Jerusalem; 1954-Ph.D., Hebrew University, (work carried out at the Weizmann Institute).

Since 1960 at the Weizmann Institute of Science in Rehovot. 1970-1973: Dean, Faculty of Biology; 1970-1971: Vice-President; 1975-1985: President; 1985-2001: Deputy Chairman of the Board of Governors.

From 1967 - Foreign Member of the Max-Planck Institute for Immunobiology;

1975-1979 - Chairman, EMBO Council; 1977-1980 - President, International Union of Immunological Societies; 1979-1982 - Member, WHO Global Advisory Committee on Medical Research; from 1989 - President, Scientific Council Institut Pasteur-Weizmann Institute.

Prizes include Israel Prize, Rothschild Prize, Otto Warburg Medal, Emil von Behring Prize, Gairdner Award (Canada), Prize of the Institut de la Vie (France), Jaubert Prize (Switzerland), Interbrew-Baillet Latour Health Prize (Belgium), The Wolf Prize.

Academy memberships include Israel Academy of Sciences and Humanities, U.S. National Academy of Sciences, Pontifical Academy of Sciences, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, American Academy of Arts and Sciences, Russian Academy of Sciences, Romanian Academy, French Academy of Science, American Philosophical Society, Accademia Nazionale dei Lincei (Italian). Honorary doctorates from the Universities of Bordeaux, Strasbourg, Mexico, Tufts, Colby College (Maine), and Hebrew University of Jerusalem. Cross of the order of Merit of the Federal Republic of Germany; Officer of l'Ordre de la Legion d'Honneur, France; UNESCO Albert Einstein Golden Medal; Harnack Medal of the Max Planck Society (Germany).

Published more than 700 articles, chapters, books, in the fields of immunology, biochemistry and molecular biology.

cytokines may mediate the therapeutic effect of Cop 1 in disease induced not only with MBP but also with other encephalitogens by the mechanism of "bystander suppression". The induction of such specific suppressor cells by Cop 1 is therefore one mechanism by which its therapeutic effect is delivered.

b. Inhibition of antigen-specific T-cell responses

It has been demonstrated that Cop 1 can competitively inhibit the response to MBP of diverse MBP-specific murine and human T cell lines and clones, which have different MHC restrictions and respond to different epitopes of MBP, while having no effect on PPD-specific T cell clones [29, 30]. These studies suggest that the site of competition between MBP and Cop 1 is most likely to be the MHC-binding site. In order to demonstrate the direct binding of Cop 1 to MHC molecules on antigen-presenting cells (APC) and to study the specificity, affinity and time course of these interactions, we used a biotinylated derivative of Cop 1 and a fluorimetric method to follow the binding [31]. Cop 1 exhibited a very high and indiscriminate binding to different types of APC of various H-2 and HLA haplotypes. The specificity of the binding was confirmed by its inhibition with either the relevant anti-MHC class II antibodies or unlabelled analogs. The binding of Cop 1 to MHC class II molecules was more rapid and efficient than that of MBP. Moreover, Cop 1 inhibited the binding of MHC and other encephalitogens to the MHC molecules and could even efficiently displace MBP from the MHC class II binding groove. This inhibition of binding to the APC is, however, of rather broad specificity, and not limited to the MBP.

Specificity for the MBP was recently displayed, however, by the competition that occurs at the level of the T-cell receptor between the complex of MBP-derived peptides with class II MHC antigen, and the complex of Cop 1 with class II antigens. This was corroborated by the antagonistic effect of Cop 1, where it inhibited the presentation of MBP or its encephalitogenic epitope to the T-cell receptor in a strictly antigen-specific manner (32).

7. Proposed mode of action of Cop 1 in EAE and MS

Cop 1 affects EAE, and therefore by extrapolation MS, at various levels of the immune response involved, which differ in their degree of specificity. Binding of Cop 1 to the MHC class II molecules, which is the least specific step, is a prerequisite for its effect by any mechanism. Following this interaction, two mechanisms were clearly shown to be effective: 1) Cop 1 binding to the relevant MHC leads to the activation of T suppressor cells, which are activated by suppressive determinants shared between MBP and Cop 1. This mechanism is a specific one and results from the cross-reactivity between Cop 1 and MBP. 2) Cop 1 can compete for binding to MHC class II molecules with several myelin-associated antigens,

resulting in inhibition of antigen-specific T cell effector functions (i.e. proliferation, interleukin secretion and cytotoxicity).

This mechanism may be less specific, as MHC blockade may lead to interference with other immune responses. However, this does not seem to be the case, as Cop-1 did not inhibit responses to ovalbumin or lysozyme. Furthermore, D-Cop 1, which bound to MHC class II molecules as efficiently as Cop 1 and competed with MBP for binding, did not inhibit MBP-specific T cell lines, and did not inhibit EAE when coinjected with the encephalitogenic emulsion. These findings may suggest that the nonspecific MHC blocking is a necessary but not sufficient step, which requires an additional step involving antigen-specific mechanisms such as induction of crossreactive T cell tolerance, or T cell receptor antagonism. Regardless of the mechanism involved, the ability of Cop 1 to suppress disease which is induced not only by MBP but by other myelin-associated proteins as well, is very important, since these antigens might be potential autoantigens in MS.

8. Conclusion

Copaxone is the only non-interferon novel drug for the treatment of multiple sclerosis. It is a synthetic polymer of amino acids, and has a specific effect on the autoimmune process involved in EAE and in MS. The results of clinical trials with Cop 1 indicate that it is a promising low-risk MS-specific drug for the treatment of relapsing MS, capable of slowing progression of disability and reducing the relapse rate. As an antigen-specific intervention, Cop 1 has the advantage of reduced probability of long-term damage to the immune system.

As for the chemistry "angle" of this drug, it is of interest that Copaxone is the first drug of a polymeric nature approved for treatment of a disease. This is a macromolecular preparation obtained by polymeric techniques, in which probably no two molecules are completely identical. The microheterogeneity of Cop 1 can actually be part of its success, as it may contain sufficient different amino acid sequences that could successfully compete with the encephalitogenic antigens for class II MHC antigens of many different genetic backgrounds. This, as well as its high safety profile, make Copaxone a first choice drug that will hopefully alleviate the suffering of many MS patients.

References

- [1] R. Arnon, *Immun. Lett.* **1996**, *50*, 1
- [2] M. Sela, *Acta Polym.* **1998**, *49*, 523
- [3] D. Teitelbaum, R. Arnon, M. Sela, *CMLS, Cell Mol. Life Sci.* **1997**, *53*, 24.
- [4] E. Katchalski, M. Sela, *Adv. Protein Chem.* **1958**, *13*, 243.
- [5] E. Katchalski, M. Sela, H.I. Silman, A. Berger, "Polyamino Acids as Protein. Models", in *The Proteins* (Ed. H. Neurath), Academic Press, New York **1964**, pp. 405-602.
- [6] M. Sela, A. Berger, *J. Am. Chem. Soc.* **1955**, *77*, 1893.

or spinal cord-derived substances which constitute the encephalitogenic antigens. These include several proteins such as myelin basic protein (MBP), proteolipid protein (PLP), myelin oligodendritic glycoprotein (MOG) and others. The disease is mediated by CD4+ autoreactive T cells, which recognize the encephalitogenic antigen(s) in association with major histocompatibility complex (MHC) class II molecules. These autoreactive cells migrate into the central nervous system (CNS) and mediate the pathogenic process. When we started our research in 1967, the only encephalitogenic material identified in the CNS was the MBP, and the only information available about it was its overall amino acid composition. It is of interest that MBP, under different conditions (e.g. in the absence of CFA) was capable of suppressing EAE rather than inducing the disease [16].

Our approach to the study of EAE and its suppression was the synthetic one, using copolymers of amino acids whose composition resembled to a certain extent that of natural MBP, in order to simulate its ability to induce or suppress EAE. None of the copolymers proved to be encephalitogenic even after conjugation with brain lipids, but some, particularly Cop-1, showed high efficacy in suppressing EAE [17].

Cop-1 is a synthetic amino acid copolymer composed of L-alanine, L-lysine, L-glutamic acid and L-tyrosine in a residue molar ratio of 4.2:3.4:1.4:1.0. It was shown to suppress EAE induced by MBP in a variety of animals, including guinea pigs, rabbits, mice and two species of monkeys - rhesus monkeys and baboons [18]. The results clearly indicated that there was a remarkable degree of suppression of EAE by Cop-1 in all species studied, although different encephalitogenic determinants of MBP were involved in disease induction in the different species. Indeed, our studies have shown that the suppressive effect of Cop-1 in EAE is a general phenomenon and is not restricted to a particular species, disease type or the encephalitogen used for EAE induction [3,15]. Furthermore, Cop 1 was effective in suppressing also the chronic-relapsing EAE, a disease which shows a closer resemblance to MS, that can be induced either in guinea pigs by MBP, or in mice by PLP. In both species Cop1 reduced both the incidence and the severity of the relapses[1].

4. Immunological cross-reactivity between MBP and Cop 1

Since EAE is autoimmune in nature, and its pathogenicity involves T cells sensitized to MBP, the specific inhibition by Cop 1 may be explicable in terms of an immunological cross-reaction between Cop 1 and MBP. Studies have been performed to test this hypothesis at both the cellular and humoral levels of the immune response.

Using monoclonal antibodies raised against MBP, we could demonstrate clearly that several monoclonal anti-MBP antibodies reacted with Cop 1 and vice versa [19]. At the

cellular level, a marked cross-reaction was observed both in vivo in the delayed hypersensitivity skin test and in vitro by measuring lymphocyte transformation [20]. Of particular interest is the very good correlation between the extent of immunological cross-reactivity and suppressive effect on EAE of various materials. Thus, D-Cop 1, a polymer resembling Cop 1 in all parameters except that it is composed of D-amino acids rather than L-amino acids, does not cross-react with MBP and has no suppressing activity whatsoever [21]. It is therefore plausible that the immune response/intervention by Cop 1 is the basis for its suppressive effect on EAE.

5. Clinical studies with Cop 1 in MS

In view of the putative resemblance between EAE and MS and the assumption that MBP may be involved in the pathogenesis of MS, preliminary clinical trials using Cop-1 were conducted on MS patients. These were begun after toxicity studies in experimental animals showed that Cop 1 was nontoxic after both acute and subchronic administration to mice, rats, rabbits and beagle dogs [1], and that there was no significant uptake by any of the animal organs.

Our clinical trials have included two preliminary open trials and two double blind phase II trials, one involving exacerbating-relapsing (ER) patients [22] and another one on chronic progressive (CP) patients [23]. The results of the phase II trial on ER patients demonstrated a remarkable decrease in the number of relapses during the two years of the trial, as well as in the rate of progression of the disease in Cop 1-treated patients compared with the placebo control. After a successful pivotal multicentre phase III clinical trial [24,25], which was conducted in 11 medical centres in the United States and involved 251 patients, the US Food and Drug Administration decided to approve Cop 1 ("Copaxone") as a drug for MS. Copaxone has since been approved in Israel, Canada, Argentina, and several countries in Europe. It is being used by thousands of patients with highly successful results.

6. Mechanism of activity of Cop 1

a. Induction of antigen-specific suppressor cells

We have demonstrated that mice pretreated with Cop 1 in incomplete adjuvant became resistant to further EAE induction. This state of unresponsiveness could be adoptively transferred to normal recipients by spleen cells from Cop 1 treated donors, and the cells responsible for the suppressive activity were identified as T lymphocytes [26]. Furthermore, we have demonstrated the generation of suppressor T-cell hybridomas and lines from spleen cells of mice rendered unresponsive to EAE by Cop 1. Both cell types produce in vitro inhibition of MBP specific effector lines and in vivo inhibition of clinical EAE [27]. Recent results revealed that these T suppressor cells secrete Th2 cytokines after exposure to either Cop 1 or MBP [28]. These



THE CHEMISTRY OF THE COPAXONE DRUG

RUTH ARNON AND MICHAEL SELA

1. Introduction

Copaxone is the commercial name of an FDA approved drug for the treatment of multiple sclerosis (1). It consists of a synthetic polymer of amino acids, denoted Copolymer 1 (Cop 1), composed of L-alanine, L-lysine, L-glutamic acid and L-tyrosine. This is a novel and unique drug not only since it is the first drug based on an antigen-specific suppression of an autoimmune disease, but also because this is the first case in which a synthetic polymeric substance comprises the main ingredient of a drug (2).

We are familiar with the use of biopolymers, for packaging a drug, for slow and controlled release, and for many other uses, but never as the active ingredient against a disease. In the following, we intend to discuss the chemistry of this substance, its polymeric nature, and its development into a drug against the exacerbating-remitting type of multiple sclerosis [3].

Cop 1 is effective because it is related immunologically to the myelin basic protein (MBP), a substance in the myelin sheath of the brain that seems to be the main cause of the autoimmune phenomena in multiple sclerosis. In this particular case the agent is a synthetic product, a copolymer of amino acids. Hence, the drug is specific for this disease. But, it can serve as a prototype of specific drugs-vaccines against autoimmune diseases. Vaccines against infectious diseases are known to be highly specific. We have extended this concept to autoimmune diseases: whenever it is possible to identify the putative cause of the diseases, it should be possible to find a close molecular analog which will combat the disease. In this particular case the agent is a synthetic product, a copolymer of amino acids.

2. Chemistry of polyamino acids - Polymeric aspects

In a typical polycondensation or polyaddition, the polymerization occurs through the reaction of growing chains with growing chains, resulting in a very broad distribution of molecular weights. The situation is totally different in polymerization of ethylene oxide, where a growing chain can react only with a monomer, leading to a much narrower, Poissonian, distribution of molecular weights. Poly-amino acids are prepared usually from N-carboxy-amino acid anhydrides [4], and this polymerization occurs through the growth of chains by reaction only with monomers and not with each other [5]. The polymerization is essentially devoid of a termination reaction, but two types of termination reactions have been shown to occur:

a general intermolecular termination reaction in which a growing peptide chain reacts with an N-carboxy-amino acid anhydride to yield a ureido compound with a terminal carboxyl group [6]; and a specific intramolecular termination reaction, in the case of glutamic acid, leading to an unreactive terminal pyrrolidone ring [5]. As these occur very rarely, the experience is that polymers and copolymers of amino acids possess a narrow molecular weight distribution.

The length of the polymer will depend on the ratio between the monomer and the initiator which is usually a primary or secondary amine. Keeping this ratio constant leads to high reproducibility of molecular size in different batches of the polymers. Furthermore, the rate of polymerization is an intrinsic property of the different N-carboxyanhydride derivatives, and hence, different samples of a polymer with the same composition of amino acids, although of random sequence in their nature, will be very similar in their physical and chemical properties.

3. Synthetic antigens - Use of amino acid copolymers in immunology

As early as 1960 we showed that a multichain amino acid copolymer, composed of a backbone of poly-L-lysine, with chains of poly-DL-alanine attached to the amino groups of polylysine, and elongated with short chains of L-tyrosine and L-glutamic acid - all prepared by polymeric techniques - is immunogenic, leading to the production of specific antibodies in a variety of experimental animals [7]. This led to a series of studies towards the elucidation of the molecular basis of immune phenomena [8,9], as well as to the discovery of the determinant-specific genetic control of the immune response [10,11]. The role of size, composition, optical configuration of the component amino acids, electrical charge, etc. has been defined, and the special importance of the steric conformation has been stressed, leading to the definition of sequential and conformational antigenic determinants (epitopes) [12]. This led in turn to the development of synthetic vaccines against infectious diseases [13,14], and to efforts to deal with autoimmune diseases [15].

It all began as basic research into the mechanisms involved in the induction and suppression of experimental allergic encephalomyelitis (EAE), which is the primary animal model for MS. EAE is an acute neurological autoimmune disease, induced by the injection in complete Freund's adjuvant (CFA) of brain -



יהושע יורטנר נולד בשנת 1933 בטרנוב, פולין. המאורעות המרכזיים בתולדות עם ישראל בעת החדשה, העולם השנייה, רדיפות הנאצים, השואה והמאבק על

תקומת מדינת ישראל הם שעיצבו את ילדותו, את התבגרותו ואת השקפת עולמו. ב-1 בספטמבר 1939, היום שעמד להתחיל בו את לימודיו, תקפה גרמניה הנאצית את פולין והוא ומשפחתו היו לפליטים. בשנת 1941 הצליחה המשפחה להגיע לארץ ישראל. בית הספר העממי תל-נורדוי בתל אביב היה אכסנייתו החינוכית הראשונה בשנים 1941-1947. בשנת 1948 עבר יהושע לבית הספר התיכון עירוני א', שנוסד בשנה זו ורמת החינוך בו הייתה גבוהה בקנה מידה עולמי. שם הושפע עמוקות ממוריו, חוקרים אקדמיים מעולים מאירופה שלא מצאו משרה באוניברסיטה ולכן עברו להוראה תיכונית. הם הטביעו את חותמם על חינוך הדור הצעיר, אשר בעתיד יתרום רבות למדינת ישראל.

בסוף שנת 1951 החל בלימודי הכימיה בירושלים במסגרת העתודה האקדמית. האוניברסיטה העברית שגלתה מהר הצופים הייתה מפוזרת בכל תחומי ירושלים החדשה. האוניברסיטה העברית היתה אוניברסיטת מחקר מובהקת ברוח המסורת שקבעה בשנות השלושים הועדה האקדמית בראשות אלברט איינשטיין. בשנות החמישים המוקדמות הייתה האוניברסיטה העברית דלה בתשתית הפיזית אך עשירה במסורת ובכוח אדם מדעי. עם הסגל האקדמי בתחום הכימיה נמנו פרופסור אהרון קציר ז"ל ואחיו פרופסור אפרים קציר 'בל"א, שהיו מגיעים ממכון ויצמן למדע ונושאים את הרצאותיהם המזהירות בכימיה פיזיקלית, במכניקת הקוונטים ובביופיזיקה. פרופסור ארנסט דוד ברגמן, הכימאי האורגני רחב האופקים אשר חלק את זמנו בין המחקר וההוראה האוניברסיטאיים ובין בניית מערכת המו"פ הביטחוני של המדינה, לימד את הסטודנטים הצעירים על כיווני מחקר

חדשניים בשעות הערב המאוחרות בתום עיסוקיו האחרים. גם פרופסור גבריאל שטיין כמנהלה הצעיר של המחלקה לכימיה פיזיקלית תרם רבות לקידום הדור הצעיר.

עבודת הדוקטורט של יורטנר, עסקה בפוטוכימיה של יונים בתמיסות מימיות תוך התמקדות ביצירת רדיקלים, אטומי מימן ואלקטרונים מיומייים והראקטיביות שלהם בתמיסות מימיות, ותהליכים פוטוכימיים של הפרדת איזוטופים (וזאת זמן רב לפני הפרדת איזוטופים על ידי לייזרים). מורו מדריכו היה פרופסור גבריאל שטיין, מחלוצי כימיית הקרינות של תמיסות מימיות. התעניינותו של יורטנר בפוטוכימיה של תמיסת יוניות מימיות התמקדה בתחום מחקר שפיתח החוקר הדגול ג'ימס פרנק בשנות השלושים. יורטנר זכה להכיר את פרופסור פרנק בשיקגו בשנת 1963. הפוטוכימיה כתהליך שחרור אנרגיה כימית עקב בליעת אור ריתקה מלכתחילה את דמיונו של יורטנר כתחום הדורש הבנה מיקרוסקופית של תהליכי יסוד פיזיקליים וכימיים.

בשנים 1960-1962 עבד יורטנר באוניברסיטה העברית כמרצה ועסק בהוראה ובמחקר ספקטרוסקופי, פוטוכימי וקינטי של תמיסות מימיות בשיתוף פעולה עם ידידו פרופ' גדעון שפסקי. אבן פינה להקמת המחקר בכימיה עיונית בארץ היה בית הספר הראשון לכימיה תאורטית שהוקם בשנת 1961 בירושלים ביזמתם של פרופ' גבריאל שטיין וד"ר יהושע יורטנר. המרצים היו פרופ' קולסון מאוקספורד, פרופ' אורגל מקמבריג', פרופ' פאוץ' מהטכניון וד"ר יורטנר מירושלים. לימים תרמו רבים מהתלמידים תרומה חשובה למדע.

בשנים 1959-1960 זכה יורטנר להשתלם בתחומי הכימיה העיונית במרכזים בולטים בעולם. הוא עשה חודשים אחדים באוניברסיטאות קמבריג' ואוקספורד באנגליה במחיצתם של הפרופסורים לונגט-היגנס וקולסון, מאבות הכימיה התאורטית. בתקופה זו פיתח תיאור עיוני של אינטראקציות במערכות מעובות באמצעות מודלים דיאלקטריים. בגלל פיתוח השיטות הניסיוניות של "הפרדה במטריצות" באותה התקופה זכתה העבודה העיונית

לתשומת לב מיוחדת. בשנת 1961 הוזמן יורטנר להציג את עבודתו בכנס הבין-לאומי המרכזי לכימיה תאורטית באוקספורד. כנס זה שיקף את המטמורפוזת בכימיה העיונית, אשר עד שנות השישים התמקדה בתורת הקשר הכימי והמבנה המולקולרי, ואת ההתחלה של התפתחות מרשימה בתחומי הכימיה העיונית לעבר חקר הראקטיביות והדינמיקה הכימית, תחום מרכזי בעבודתו של יורטנר לעתיד. רבים מהחוקרים (הצעירים דאז) מכל רחבי העולם ראו בכנס אוקספורד ציון דרך בהתפתחות הכימיה המודרנית. ציון דרך חשוב באותה המידה נקבע כעבור 37 שנים, בשנת 1998, כאשר הפרופסורים רפאל לוין ויהושע יורטנר ארגנו בירושלים את הכנס על כיווני מחקר חדשים במדעי הכימיה, כנס שהתווה את דרכי התפתחות הכימיה המודרנית לקראת המאה ה-21.

בסוף שנת 1962 קיבל יורטנר מינוי לעמית מחקר במכון לחקר המתכות ובמחלקה לכימיה של אוניברסיטת שיקגו בקבוצת המחקר של הפרופסורים סטיוארט רייס, מחלוצי הכימיה הפיזיקלית המודרנית, ולותר מייר, מאבות הפיזיקה הכימית של טמפרטורות נמוכות. מכון המחקר של אוניברסיטת שיקגו היה ייחודי בשיתוף פעולה אינטרדיסציפלינרי בין כימאים ופיזיקאים. עבודתו הראשונה של יורטנר בשיקגו התמקדה בחקר המבנה והספקטרוסקופיה של תרכובות הגזים האצילים (קסנון-פלואורידים) אשר אז התגלו במפתיע במעבדות ארגון. עבודתו זאת נשאה אפשרות יצירת תרכובות ואן דר ולס קשורות חלש בין גזים אצילים ובין מולקולות דו-אטומיות, שכעבור חמש-עשרה שנה יגלו דולנד לוי וריק סמלי באוניברסיטת שיקגו בשימוש בקרניים מולקולריות על-קוליות.

תחום מחקר יסודי ורחב שיורטנר תרם לפיתוחו באותה התקופה היה תהליכי הולכה ודינמיקה של עירורים אלמנטריים במוצקים. בעבודה זאת חושב בפעם הראשונה מבנה הפסים של אקסיטונים, אלקטרונים וחוריים בגבישים מולקולריים וניתן התיאור הראשון של פיצול אקסיטונים טריפלטים ושל דלוקליזציה (אי איתור) של אנרגיה במערכות פולימריות. עבודה זאת הניחה יסודות

להבנת תהליכי יסוד של העברת מטען במערכות פוטוסינתטיות. בשנות השישים המוקדמות תרמה עבודתו של יורטנר למנגנוני תהליכי העברת אנרגיה ומטען במוצקים מולקולריים. מושגים חדשים דאז של קוהרנטיות העברת מטען מהווים היום, כעבור 35 שנה, אבני יסוד להבנת התחום החדש של אלקטרוניקה מולקולרית ושל מוליכות מטען בדנ"א. תחום מחקר נוסף שפיתח באותה התקופה היה מצבים ועירורים אלקטרוניים בנוזלים. הוכנסה ההבחנה בין מצבים מאותרים וחופשיים של אלקטרונים עודפים בנוזלים בלתי פולריים ופותחה התאוריה של "בועות אלקטרונים בהליום נוזלי". המחקר של עירורים אלקטרוניים בהליום נוזל הביא לגילוי הראשון של תהליכי העברת אנרגיה בטמפרטורה נמוכה של מעלה אחת מעל האפס המוחלט. המחקרים של עירורים אלקטרוניים בגזים אצילים מעובים הביאו לגילוי יצירת אקסימרים בנוזלים ובמוצקים. זאת הייתה עבודת יסוד ראשונה לפיתוח לייזרים כימיים.

בשנת 1964 הוצעו ליורטנר דרגת פרופסור חבר ותפקיד ראש המחלקה לכימיה פיזיקלית באוניברסיטת תל-אביב, שהייתה בשלבי הקמתה. ליורטנר קסמה האפשרות לתרום תרומה ייחודית לבניית מערכת המדע וההשכלה הגבוהה של מדינת ישראל והוא קיבל את הצעתם של ד"ר ג'ורג' וייז, נשיא אוניברסיטת תל-אביב, ופרופ' יובל נאמן, ראש המחלקה לפיזיקה, והצטרף לסגל האוניברסיטה החדשה. בשנים 1964-1972 עסק בהקמת המחלקה לכימיה של אוניברסיטת תל-אביב וכיהן כראש המחלקה הראשון. המחלקה התבססה על אינטגרציה אינטנסיבית בין מחקר להוראה, על קונצפציה אינטרדיסציפלינרית, בלי הפרדה מחלקתית בין תחומי הכימיה, על מבנה אקדמי אוטונומי בנוסח אמריקני של עצמאות מחקרית של כל חברי הסגל, ועל דמוקרטיזציה של תהליכי ההחלטות בנושאי מינויים והעלאות בדרגה. המחלקה החדשה זכתה להכרה ולהוקרה כבר בשלבי התפתחותה הראשונים. כאשר מונתה הוועדה הבודקת מטעם המועצה להשכלה גבוהה למתן הכרה אקדמית למחלקה לכימיה בשנת 1966, התבקשה הוועדה, כמקובל, לאשר הענקת תואר ראשון בלבד למחלקה החדשה, אך אישרה את התארים

הראשון והשני וכן את תואר הדוקטור. בשנת 1968 כאשר ביקר במחלקה פיזיקאי דגול, מנהל מערכת המחקר בצרפת, הוא הביע את דעתו שהגיע הזמן שהפיזיקאים יעברו למחקר בתחומי הכימיה. בסוף שנות השמונים דורגה המחלקה לכימיה של אוניברסיטת תל-אביב לפי "אינדקס הציטטות" במקום הראשון בין המחלקות לכימיה מחוץ לארצות הברית.

בבניית מערכת המחקר של המחלקה החדשה דגל יורטנר בגישה של הקמת מסגרות מחקר חדשניות שלא חפפו בהכרח את הפעילות המדעית בארץ. במחלקה לכימיה לא הייתה פעילות מחקר בכימיה אנאורגנית, אך הוקמה הקבוצה לאלקטרוכימיה בראשות פרופסור אליעזר גלעדי. גישה זאת באה לידי ביטוי גם בהקמת קבוצת המחקר בפיזיקה כימית של פרופ' יורטנר שהתבססה על שילוב אינטרדיסציפלינרי בין כימיה לפיזיקה (ולאחר מכן גם ביופיזיקה) בתחומי מדעים מולקולריים, חומר מעובה (ולאחר מכן גם מדעי חומרים), ועל אינטגרציה בין מחקר עיוני וניסיוני מתוך הכרת חשיבות המחקר הניסיוני לתשתית טכנולוגית במדינה. מיד עם תחילת עבודתו המדעית בתל-אביב בשנת 1964 החל יורטנר להשתמש בציוד הלייזרים של המחלקה לפיזיקה, שאז הוקמה גם היא, לחקר תופעות לא-לינאריות ותהליכי העברת אנרגיה בגבישים. תלמידי מחקר מהמחלקה לפיזיקה ביצעו את עבודת הדוקטור שלהם במחלקה לכימיה. מיד בשלבים הראשונים הוקמו מערכת ניסיונות לספקטרוסקופיה מולקולרית ושל חומר מעובה בתחום הוואקום האולטרה-סגול, מערכות לספקטרוסקופיית לייזרים ומערכות לחקר תכונות אלקטרוניות של מתכות בתנאי טמפרטורה ולחץ גבוהים. תלמידי המחקר הראשונים היו בנימין שרף (כיום פרופסור באוניברסיטת בן-גוריון), ברי הויג (כיום פרופסור באוניברסיטת קולומביה בניו-יורק), ברוך רוז (כיום עוסק במדיניות מדע) ועוזי אבן (כיום פרופסור באוניברסיטת ת"א). בשנות השישים והשבעים התמקד חלק ניכר מהמחקר בתחום הפיזיקה הכימית באוניברסיטת תל-אביב בהבנת מצבים אלקטרוניים והדינמיקה שלהם במערכות מעובות ולא מסודרות. אלו כללו פיתוח תאוריות של מצבים אלקטרוניים והעברת אנרגיה

בגבישים מעורבים, ניבוי של קיום מצבים אקסיטוניים בנוזלים, חקר תהליך המעבר ממצבים לא מאותרים למצבים מאותרים של אלקטרון עודף בנוזלים, והמבנה האלקטרוני ותהליכי הסעה במערכות לא מסודרות, כולל טיפול בתהליכי מעבר מתכת-מבודד במערכות לא מסודרות, כמו מתכות מורחבות ותערובות מתכת-מבודד. בצד הניסיוני הובררו תהליכי לוקליזציה של אלקטרון עודף במערכות על-קריטיות, הובאו נתוני יסוד לזיהוי מעבר מתכת-מבודד בכספית מנופחת בטמפרטורות ובלחצים גבוהים, הובאה עדות ספקטרוסקופית ניסיונית ראשונה לתהליכי מסוך במעברי מתכת-מבודד, הובאה עדות ראשונה למצבים אקסיטוניים בנוזלים, זהו מצבי רידברג מולקולריים במוצקים ונחקרו עירורים אקסיטוניים ותהליכי העברת אנרגיה במערכות פשוטות של גזים אצילים. עבודה זאת יחד עם העבודה על דינמיקה אינטרה-מולקולרית הניחה את היסודות לפיתוח תחומי המחקר של צברים מולקולריים בשנות השמונים והתשעים. בד בבד עם עבודתו המדעית תרם יורטנר להקמתה של אוניברסיטת תל אביב, להעלאת רמתה ולביסוסה. בשנים 1966-1972 כיהן כסגן רקטור, רקטור בפועל וסגן נשיא של אוניברסיטת תל אביב. באותה התקופה הקימה האוניברסיטה תשתית אנושית ומחקרית. בתחום התשתית המדעית פעל יורטנר יחד עם חבריו, וביניהם פרופ' שלום אברבנאל, לרכישת הציוד המתקדם ביותר בעולם דאז בתחום המחשבים. באותה התקופה נקבע אופייה של אוניברסיטת תל-אביב כאוניברסיטת מחקר עם ספקטרום רחב של פעולות חינוך לשירות החברה והמדינה. לאחר מכן מיקד יורטנר את פעולתו הציבורית-המדעית בתחומים לאומיים. בשנים 1969-1974 כיהן כחבר המועצה להשכלה גבוהה, המועצה הלאומית למחקר ופיתוח, וכמדען הראשי של משרד התקשורת. בתפקידים האלה תרם לתשתית ההשכלה הגבוהה והמוציא לאור הלאומי. עם מינויו של יגאל אלון לשר החינוך והתרבות בשנת 1974 אישרה הכנסת את חוק ההשכלה הגבוהה. יורטנר היה חבר הוועדה לניסוח החוק ותרם את ההגדרה שפעילות ההשכלה הגבוהה כוללת את המחקר הבסיסי, אבן יסוד לתמיכה הלאומית במחקר האקדמי. כהונתו בוועדה לתכנון ולתקצוב של

המועצה להשכלה גבוהה בשנים 1975-1981 תרמה לבניית התשתית המדעית (אמצעי מחקר) וההון האנושי (תכנית מלגאי אלון) במערכת ההשכלה הגבוהה. בשנת 1971, בתקופת כהונתו כחבר המועצה להשכלה גבוהה, ביקשו הש"ר יגאל אלון לעמוד בראש ועדה שתקים אוניברסיטה בשדה בוקר. זאת הייתה הפעם היחידה שנפגש עם דוד בן גוריון. בעקבות פעולת הוועדה הוקם המכון לחקר המדבר בשדה-בוקר.

במהלך כל פעילותו המדעית התעניין יורטנר בתהליכי צבירה, אגירה ושחרור אנרגיה במולקולות גדולות, בצברים מולקולריים, בחומר מעובה ובמערכות ביולוגיות. עבודתו על תהליכים לא קרינתיים במולקולות גדולות החלה באמצע שנות השישים ונמשכת עד עצם היום הזה. המודל העיוני של ביקסון ויורטנר משנת 1968 הסביר וניבא תופעה של מעברים לא קרינתיים במולקולות גדולות מבודדות תוך קביעת אופיים הפנים-מולקולרי של תופעות העברת אנרגיה אלקטרונית וגרעינית והתחלקות אנרגיה ויברציונית במולקולות גדולות. פיתוח נוסף של התאוריה בשנים 1969-1978 על ידי ביקסון, ניצן, מוכמל ויורטנר ניבא יחסי גומלין בין תופעות ספקטרוסקופיות ודינמיות, אשר אושרו באופן ניסויי בשנים 1980-1985 כאשר ד"ר אביב עמירב ופרופ' עוזי אבן מאוניברסיטת תל-אביב קיררו מולקולות גדולות (כמו סטרצן, אזולן, אודלן ופורפירינים) בקריניים מולקולריות על-קוליות וקבעו הרחבה ספקטרלית אינטרה-מולקולרית וזמני חיים של מצבים אלקטרוניים מעוררים. במהלך עבודה זאת פותחו מושגי יסוד בעלי חשיבות לניסיונאים ולתאורטיקנים, כגון סולמות אנרגיה ויברציונית-אלקטרונית, מצבי דלת לעירור, דמוי-הרצף היוברוני, דינמיקה של חבילות גל של מצבים עצמיים מולקולריים, והתופעות הדינמיות הקשורות במבנה בדיד, מבנה ביניים ומבנה סטטיסטי של רמות אנרגיה מולקולרית. עבודה זאת הניחה את היסודות העיוניים לתחום כימית לייזרים פוטוסלקטיבית של מולקולות גדולות וצברים מולקולריים ולחקר תהליכי עירור ופירוק מולקולרי רב-פוטוני אשר נחקרו באופן ניסיוני בארצות הברית, במערב אירופה, ברוסיה ובישראל. כמו כן קבעה העבודה של קבוצת תל-אביב בשנות השבעים והשמונים את הבסיס העיוני לשטח החדש של כימית פמטושניות, תהליכי דינמיקה כימית על סקלת זמן של אלפית-מיליונית-מיליונית השנייה

המתאים לתנועה הגרעינית. עם פיתוח לייזרים על-מהירים (על סקלת זמן של פמטושניות) מבוצעות עבודות נרחבות ומרתקות בכל רחבי העולם המדעי לחקר התופעות הבסיסיות של כימיה על-מהירה במולקולות, בצברים, בחומר מעובה ובמערכות ביולוגיות. עבודת קבוצת תל-אביב סיפקה השראה ניכרת לכימיה החדשה.

עבודתו של פרופ' יורטנר בשותפות עם חברו פרופ' ביקסון ותלמידיהם משנת 1974 ועד היום הרחיבה את חקר מכלול התופעות הדינמיות תוך התמקדות בתהליכי רלקסציה בפזות מעובות, בעיקר תהליכי העברת אלקטרון. נקבעו יחסי גומלין בין דינמיקה אינטרה-מולקולרית לדינמיקה בפזות מעובות, בורר אופיו של הצמוד האלקטרוני והגרעיני האחראים לתהליכי העברת אלקטרון ונקבעו עקרונות לאופטימיזציה של תהליכי העברת אלקטרון-על מהירים על סקלת הזמן של תנועה גרעינית. חקר תופעות דינמיות במערכות מעובות הביא את יורטנר לחקר תהליכי יסוד בביופיזיקה. התהליך היסודי בפוטוסינתזה המאפשר את קיום החיים על פני כדור הארץ מבוסס על תהליכי העברת אלקטרונים שאפשר לתארם באמצעות התאוריות של קבוצת תל-אביב. עם קביעת המבנה הקריסטלוגרפי של מרכז הראקציה הפוטוסינתטי על ידי המדענים הגרמניים דיזנהופר, הובר ומיכאל, הצליח יורטנר לתרום להבנת המנגנון הראשוני ולתופעה המרתקת של שבירת סימטריה בהעברת המטען הפוטוסינתטית. מחקרים אלו קבעו יחסי גומלין בין מבנה, דינמיקה ופונקציה במערכות ביולוגיות.

עבודתו של יהושע יורטנר הרחיבה את גבולות הכימיה בחקר תהליכי השינוי הכימיים והבנתם. פרופסור יורטנר גאה מאוד בתלמידיו. במרוצת השנים חינך והדריך 20 תלמידי מוסמך, 35 דוקטורנטים ו-20 בתר-דוקטורנטים. רבים מהמדענים האלה תרמו תרומות חשובות למדע ופועלים באוניברסיטאות ובמעבדות המחקר בישראל, באירופה ובארצות הברית. יורטנר מאמין שהמדע חייב להיות בין-לאומי הן מבחינת התוכן הן מבחינת הרמה. אמונתו באה לידי ביטוי בשיתוף פעולה מדעי הדוק בינו ובין קבוצות חוקרים מעולות בישראל, בגרמניה, בצרפת ובארצות הברית. "המשפחה המדעית" שלו מייצגת נאמנה את האסכולה המדעית של הפיזיקה הכימית המודרנית. עבודתו המדעית זכתה להכרה והוקרה

רבה בארץ ובעולם. הוא מוזמן לשאת הרצאות יוקרתיות, זכה בפרסים מדעיים רבים, ביניהם פרס ישראל למדעים מדויקים ופרס וולף בכימיה. הוא חבר ארבע-עשרה אקדמיות למדעים, ביניהן האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, האקדמיה הבין-לאומית למדעים קוונטיים, האקדמיה הלאומית של ארה"ב, האקדמיה האמריקנית, החברה הפילוסופית האמריקנית, והאקדמיות למדעים של דנמרק, גרמניה, רוסיה, פולין, רומניה, הולנד והודו.

פרופ' יורטנר הטביע את חותמו על התפתחות המדע והטכנולוגיה במדינת ישראל הן כאיש מדע הן בתפקידיו הלאומיים. בשנים 1986-1995 שירת שלוש תקופות כהונה בתפקיד נשיא האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים. במסגרת תפקידו זה פעל לבניית תשתית המחקר המדעי של מדינת ישראל שבאה לידי ביטוי בהקמת הקרן הלאומית למדע ובהקמת קרנות שמורות למדע באקדמיה. הוא פעל לבניית ההון האנושי-המדעי של מדינת ישראל על ידי הפעלת תכניות לקליטת מדענים עולים ברמה גבוהה מלגות קרן ברכה ומלגות גואסטלה. כן תרם להרחבת קשרי החוץ המדעיים של ישראל באמצעות חתימת חוזים לשיתוף פעולה מדעי עם 25 גופים מדעיים וביניהם אקדמיות למדעים ברחבי העולם. בשירות המדע תרם ליחסי החוץ של מדינת ישראל על ידי הקמת המרכז האקדמי בבגין לפני כינון הקשרים המדיניים בין ישראל לסיין.

במסגרת פעילותו הבינלאומית מכהן פרופ' יורטנר בשנים 1998/9 כנשיא הארגון הבינלאומי לכימיה טהורה ושימושית (IUPAC), המאגד שישים מדינות. במסגרת שירות זה הגדיר והפעיל מדיניות חדשה של הארגון הנשענת על גלובליזציה, על הרחבת האופקים האינטרדיסציפלינרית של מדעי הכימיה ועל השירות השגרתי הבינלאומי של הכימיה.

פרופסור יורטנר מאמין בחזון יחסי הגומלין בין מדינת ישראל ויהדות הגולה ובתפקידו המרכזי של המדע בעיצובם. הוא מאמין במחויבותו של איש המדע הישראלי למדינה. בתפקידו כנשיא האקדמיה למדעים ובמסגרות אחרות כיהן פרופ' יהושע יורטנר כיועץ מדעי לראשי הממשלה יצחק רבין ז"ל, יצחק שמיר ושמעון פרס יב"א ותרם בתחום זה מתוך אמונה שהמדע הוא מרכיב עיקרי בקביעת רמתה, דמותה ותדמיתה של מדינת ישראל.



הפכה למסוכנת יותר ויותר. "אגן", יחד עם מוצא, אף נכבשה ליום אחד על ידי הכוחות העירקיים, שישבו בכפר הערבי קולוניה (ליד מבשרת של היום), והכימאים ששהו במפעל באותו יום, נחלצו ממנו ברגע האחרון בשן ועין. נוכח ארועים אלו הוחלט בהגנה להעביר את "אגן" לאזור תל אביב, וכל עובדיו סופחו ליחידה הכימית של חיל המדע עד לתום המלחמה.

עם הקמת המדינה וסיום מלחמת העצמאות, החליטו כמה כימאים מ"אגן", עם צור בראשם, שצריך להקים תעשייה כימית בארץ. הם שכרו מקום באבו כביר, והקימו מפעל (שעדיין נשא את השם "אגן") שהתמחה בחומרי הדברה סינטטיים, מתוך אמונה וציפייה שהמדינה והחקלאות יתפתחו, או כפי שמספר צור: "קיוונו שהיהודים יהפכו מסוחרים לחקלאים". מכיוון שלצורך הקמת המפעל נפרדו מההסתדרות, הם גייסו כספים ממשקיעים פרטיים והלוואות. אבל, גם מפעל זה לא סיפק את חזונו של צור: "הרגשתי שזה לא מספיק ציונות" הוא אמר, והחל לפתח את הרעיון של מפעל כימי גדול ובסיסי יותר שיתמחה בחומרי הדברה לחקלאות. זאת למרות ש"אגן" התפתח והצליח כלכלית ופירנס בכבוד את חבורת הכימאים שהיו כבר בעלי משפחות.

כחלק מהתפיסה ש"להקים מפעל זה ציונות" החליט צור כי מפעל בסדר גודל כזה חייב לקום בנגב, ולתרום את חלקו בהפרחת השממה ובפיתוח הנגב. חבורת הכימאים שהלכו עם צור יחדיו כברת דרך ארוכה, החליטו לוותר על הרעיון של מגורים ועבודה במדבר והודיעו לצור: "רחובות זה הכי דרום בשבילנו". אבל צור לא ויתר. הוא שכנע את צבי שריב שעמד בראש חברת המימון ההסתדרותית "ניר", שמימנה התיישבות חקלאית, כי פיתוח חומרי הדברה לחקלאות תהיה תרומה גדולה להתיישבות החקלאית בארץ.

שריב וצור נסעו לבאר שבע להפגש עם ראש העיר טוביהו, שנחשב לשריף של העיר ולאיש הכל יכול. טוביהו אימץ את הרעיון בחום, וב'53' הוקם מפעל "מכתשים" (על שם המכתש המשמש לכתישת חומרים ועל שם מכתשי הנגב).

הראשונים שפיתחו היה הסכארין. בהמשך, לאחר שאחיו הטייס עמנואל, הסב את תשומת ליבם לצורך בתערובות שיאפשרו ריתוך האלומיניום לצורך תיקון חלקי מטוסים, פיתחו פלקס לריתוך אלומיניום. חבורת הסטודנטים הצעירה והנמרצת המשיכה בפיתוחים שונים, ולצורך כך הקימו את ה"קואופרטיב של כימאים".

במקביל הציע צור יחד עם עמיתו ללימודים מיכאל פירסקי, לפרופ' פרקש לעשות את עבודת הגמר שלהם לתואר השני על תהליך קטליטי לייצור פטליק אנהידריד. עם סיום המחקר, וברשותו של פרופ' פרקש, פנו צור ופירסקי למימוש התהליך שפיתחו לייצור תעשייתי של הפטליק אנהידריד, ששימש לייצור חומרים פלסטיים וכן חומר בסיס לייצור צבע, שהיה לו ביקוש רב בתעשיית הצבע בארץ. עליית הגג הקטנה לא יכלה יותר להכיל את הפעילות הנרחבת של "קואופרטיב הכימאים", והם עברו לדירת שני חדרים באזור התעשייה הישן בגבעת שאול שבירושלים. עם הזמן גם דירת שני החדרים היתה צרה מלהכיל את מימדי הפעלתנות של הכימאים הצעירים והוחלט להקים קואופרטיב שהיה מסונף למרכז קואופרציה של ההסתדרות, והמפעל החדש - ישן קיבל את השם "אגן" (על שם האגן של כלי הקיבול לחומרים הכימיים).

המפעל הזה הוקם במוצא, בתוך רפת, שבעליה עיף מגידול פרותיו והשכיר את הרפת לחבורה הנמרצת. ב"אגן" ייצרו פטליק אנהידריד, ותרכובות ברום, אותו רכשו מחברת האשלג בים המלח. מהתרכובות ייצרו אטילן דיברומיד ששימש כתוספת אנטינוק לדלק וכחומר להדברת מזיקים לחקלאות, ובעיקר כמדביר מזיקים באסמי התבואה שאגירתה היתה חיונית בתקופת המלחמה. כמו כן פיתחו את התהליך לייצור של מטיל ברומיד המשמש להדברה.

בשנת '47 כשהיישוב החל להתכונן למלחמת השחרור גויס "אגן" למאמץ המלחמתי, והוסב לייצור חומרים הדרושים למערכת הבטחון. במקביל הלך והורע המצב הבטחוני, הדרך לירושלים

חמישים שנה עברו מאז החל צבי צור את הדוקטורט שלו, בשנות הארבעים באוניברסיטה העברית בירושלים, ועד שקיבל תואר דוקטור כבוד של אוניברסיטת בן גוריון, לפני שנים אחדות. צור אמנם מעיד על כך בחיוך כי: "אין ספק שזהו אחד השיאים של עבודת דוקטור הנמשכת חמישים שנה". אבל חמישים השנים הללו מקפלות בתוכן סיפור חיים של איש חזון שהוא גם מדען, יזם ותעשיין, שהיה ממקימי התעשייה הכימית בארץ. סיפורו הוא נדבך משמעותי בסיפור פיתוחה של התעשייה הישראלית, מחזונו של בן גוריון על הפרחת השממה בנגב ומהציונות, שאז, אומר צור "עוד לא היתה מילה שהתביישו בה".

סיפור חייו של צבי צור בן השמונים מתחיל באוקראינה, בה נולד למשפחת תעשיינים ציונית. האב זאב, היה בעל בתי זיקוק ובארות נפט. את ילדיו כיוון ללימודים אקדמיים ועליה לארץ ישראל. בשנת '37 עלה צבי לארץ במטרה ללמוד כימיה באוניברסיטה העברית שעל הר הצופים בירושלים. אלא, שתוכניתו התעכבה מאחר ובמעבדות הכימיה של האוניברסיטה היה מקום רק ל 10 תלמידים. צבי פנה ללימודי מתמטיקה, וכעבור שנתיים, לאחר שהתפנה מקום החל בלימודי כימיה.

עוד בהיותו סטודנט הושפע צור ממורהו פרופ' פרקש שעודד את תלמידיו לכוון את לימודיהם לפאן המעשי של המדע ולתרום בכך את חלקם בבניית הארץ. "לא תורה לשמה אלא תורה למעשים טובים ולבניית הארץ" כפי שצור מגדיר זאת היום. וכך חברו יחדיו מספר סטודנטים, ביניהם צבי צור, מיכאל פירסקי, דוד וופסי ואחרים, והקימו מעבדה קטנה בעליית גג בירושלים.

החבורה הצעירה החליטה לייצר כימיקלים למוצרים שחסרו בארץ, עקב מלחמת העולם השנייה, שהיתה כבר בעיצומה, וניתקה את היישוב מאספקת מוצרים חיוניים מחו"ל. אחד המוצרים



צבי צור שעבר עם אשתו מרים וילדיו דניאל, זאב ועופרה לבאר שבע, מונה למנהל המפעל שהיה בבעלות ההסתדרות, ומהרגע הראשון קבע שני נוהלים שלא היו מקובלים עד אז במפעלים בארץ: השקעה של חלק ניכר מההכנסות למחקר ופיתוח, שיוביל לייצור מוצרים חדשים, ופיתוח הייצוא. "אני מייד הבנתי שאספקת חומרי הדברה לחקלאות בארץ אינה מספקת לקיום מפעל גדול, וכבר בסוף שנות החמישים התחלנו לייצא חומרים לחו"ל, כשהייצוא הראשון היה לפיליפינים ואוסטרליה" מספר צור.

בשנות השישים הוחלט ש"מכתשים" תעבור לבעלות של "כור תעשיות" - הזרוע התעשייתית של חברת העובדים. בשנות השבעים מונה צור לראש החטיבה הכימית של "כור כימיה" וקבע את מרכזה ב"מכתשים" שהיתה ספינת הדגל של החטיבה (מאיר עמית שעמד אז בראש "כור" אמר כי "מכתשים" היא היהלום שבכתר של "כור"). במקביל הפך צור ליו"ר הנהלת "מכתשים". כראש החטיבה של "כור כימיה" עמד מאחורי רכישת הבעלות על "אגן" שהתפתח עם

השנים למפעל גדול ומשגשג. לאחר הרכישה הועבר "אגן" מתל אביב לאשדוד "כי זה הכי דרומה שהחברים היו מוכנים לזוז" מספר צור. לפני שנים אחדות אוחדו "אגן" ו"מכתשים" ועבור צור זו היתה ללא ספק סגירת מעגל. במסגרת פעילותו ב"כור כימיה" נרכשו מפעלים נוספים כמו: מפעל התרופות "פלנטקס" מנתניה, ו"איקפארם" בכפר סבא, מפעלים המהווים היום את הגרעין של תעשיית התרופות בארץ. בהמשך נרכשו גם טמבור וכתריסר מפעלים אחרים.

בגיל שישים וחמש פרש צור מ"מכתשים" ו"כור כימיה" מתוך אמונה "שיש לפנות מקום לצעירים". אבל סדר יומו והפניות הרבות לשירותי היעוץ שלו יכולים להתיש גם כימאים צעירים: הוא עדיין יוזם הקמת מפעלים חדשים, עוסק ביעוץ למפעלים (ביניהם "אגן"), אך מקפיד שלא לקחת חלק בעצמו בפרוייקטים להם הוא מיעץ כי: "צריך לעזור לצעירים לקדם דברים ולא לתפוס את מקומם" הוא אומר. הוא משמש כיו"ר חברה טכנולוגית בבאר שבע, פעיל מאוד בוועדות, בחבר הנאמנים של אוניברסיטת בן גוריון, וממשיך לקיים

מחקרים בכימיה עם סטודנטים צעירים באוניברסיטת בן גוריון. זאת למרות שיש לו לא מעט ביקורת על אופן התנהלות הדברים: "כיום הפרופסורים לא דוחפים למימוש מעשי של הלימוד ולתיעוש, הם מעונינים יותר בקריירה אקדמית המבוססת על פרסום עבודות מדעיות. גם הסטודנטים מעדיפים לימודי ניהול, משפטים ועסקים. אבל בסוף הם יבינו שכדי שבורסה תצמח ובנקים יפרחו צריך תעשייה שתייצר כסף חדש. אנשים מוכרחים לייצר לעצמם מטרות, גם אם בתחילה זה נראה כאילוזיה. אבל לרוב האנשים אין את היכולת הנפשית להתמסר לרעיונות, ומתפשים תחליף בכסף, שהוא חשוב, כי הוא גם קנה מידה להצלחה, אך הוא רק האמצעי להשגת מטרות אחרות, כמו סיוע לפיתוח והקמה של דברים חדשים. לאנשים אין מספיק אהבה לרעיונות והם מחליפים את האמצעי במטרה. הכסף הוא רק האמצעי. אם כל התמריץ של מנהל לעבוד זה כסף, אז אני מרחם עליו. יש לו חיים אומללים ואיני מאמין שיצליח לאורך זמן" - אומר האיש שלפני כארבעים שנה ירד לנגב עם משפחה קטנה וחלום גדול אותו הצליח לממש.

מפעל המגנזיום בסדום

"ארץ אשר אבניה ברזל ומהרריה תחצוב נחושת" (דברים ח' ט')

ד"ר טוביה צינור

קטנות יותר, אבל בעיקר מפני שהן בנויות מפח דק יותר (פלדה משופרת!), עם יותר רכיבים מחומרים פלסטיים - וממתכות קלות!

מה עשוי ממתכות קלות? - המסגרות של הדלתות ושל הכיסאות, עמוד ההגה, לוח המכשירים, חישורי הגלגלים, תיבות ההילוכים וכו' וכו'.

אילו מתכות? - החל באלומיניום כמובן (שמכיל מגנזיום), וכלה בסגסוגות מגנזיום. לא ייפלא אפוא, שיצרן הרכב הגדול באירופה, VW, הוא שותף נכבד (35%) במפעל המגנזיום בסדום. זכיה, שהחיפושית המפורסמת הכילה כ-20 ק"ג מגנזיום, כבר בשנות השלושים!

מפעל המגנזיום בסדום

מדוע סדום?

ביום המלח יש יותר מ-10 מיליארד טון מגנזיום כלוריד. יותר מזה: תהליך ייצור האשלג בסדום הוא מזקקה ענקית של מגנזיום כלורי:

האשלג אינו העשיר במלחי ים המלח: הוא הרביעי בריכוזו (אחרי CaCl_2 , NaCl , MgCl_2), וריכוזו רק כ-0.1%. ייצור רווחי שלו מתאפשר בזכות היות מי ים המלח עתירי סידן - ולכן דלי גפרה (סולפט), שלא כרוב האגמים והימים בתבל. בזכות זה, כשהמים מתאיידים בשמש החזקה, מתגבשים ושוקעים מהם למעשה, רק כלורידים (המכילים גם מעט ברומיד, בסריג הגבישי): מלח מצוי (NaCl) תחילה, ואחריו קרנליט ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

גיבוש מטהר, כידוע. גביש הקרנליט חופשי מכל "הזיהומים" שבמי הים, למעט קצת ברום ורובידיום, ומלח מצוי ששוקע עמו, וניתן להפרדה פיזיקלית. אחרי הפרדת המלח והפקת האשלג, נשארת תמיסת מגנזיום כלורי מרוכזת וטהורה כמעט; מאז תחילת הייצור מים המלח (1931) מוחזרת מרבית התמיסה הזו לים, ללא שימוש.

כמויות: מפעלי ים המלח שואבים מהים כל שנה כ-300 מיליון טון "מים". תוך כדי איוד 2/3 מהנפח הזה, על פני כ-150 קמ"ר של בריכות, מתגבשים ושוקעים תחילה כ-20 מיליון טון מלח (רובו נשאר בבריכות) ואחר כך כ-14 מיליון טון

אותו למטילים (ingots). הראקטורים התעשייתיים (Retorts) קטנים ומנתיים, והייצור עתיר עבודת אדם.

חיזור האלקטרוכימי של מגנזיום כלורי מותר (ובעבר גם הפלואוריד) מתבצע בכלים גדולים ובצורה רציפה למחצה, בטמפרטורה 700°C - 750°C ובלחץ אטמוספרי. ה"ממס" הוא היתך כלורידים (ופלואורידים) של נתרן, אשלגן וסידן. המתכת נוצרת במצב מותר, היא צפה על פני האלקטרווליט, וניתן לשאוב אותה וכדומה.

אבל המתכת נדלקת בקלות (אבוקות של צלמים). כמו כן יש לטפל גם בכלור. בקיצור: ייצור מגנזיום אינו "פיקניק"! נוסף על כך מגנזיום ומרבית סגסוגותיו מתחילים לאבד חוזק בטמפרטורות נמוכות יחסית ($\sim 200^\circ\text{C}$), וזה מגביל את השימוש בהם.

מדוע בכל זאת מגנזיום?

מוצרי אלומיניום: מגנזיום הוא מתכת קשה. אלומיניום טהור רך מאוד, וכדי לשפר את תכונותיו המכניות ואת עמידותו בקורוזיה, מסגסים אותו - עם מגנזיום!

מדובר אמנם באחוזים מעטים - אבל בעולם מיוצרים 28 מיליון טון אלומיניום בשנה, ותעשייה זו צורכת כמחצית תפוקת המגנזיום העולמית.

מוצרי ברזל ופלדה: חיזור הברזל מעפרותיו בוצע מאז ימי קדם על ידי פחמן (פחם), שמשחרר את הברזל מהחמצן. זיהומים עקשניים יותר, כמו גפרית וזרחן, אינם מסולקים בקלות, ומורידים מאוד את איכות הפלדה והיצקת (ברזל יציקה). "חיסולם" על ידי צורן ואלומיניום מקובל, אבל התוצאות הטובות ביותר מושגות באמצעות תוספת מגנזיום. תוספת זו היא בכמויות זעירות, אבל כפול 750 מיליון טון ברזל ופלדה בשנה...

משברי האנרגיה ואיכות הסביבה: חוקים קפדניים נחקקים בנושא איכות הסביבה, ומימושם מחייב הורדה חדה בצריכת הדלק של מכוניות, בין השאר. האמצעים לכך מגוונים: מנועי מכוניות יעילים יותר, צמיגים "ירוקים" יותר, שמני סיכה עמידים יותר - אבל גם מכוניות קלות יותר! המכוניות קלות יותר גם מפני שהן

קצת נדוש לומר, שמאז ימי המלך שלמה לא הופקה מתכת ראשונית בארץ ישראל.

מאז ועד דצמבר 1996.

החזון אינו חדש: הטכנולוג רב הפעלים, אלכסנדר זרחין ז"ל, השתדל לדחוף פרויקט של מגנזיום כבר בסוף שנות הארבעים. ואמנם בשנות השישים יוצרו במעבדות מפעלי ים המלח כמה עשרות גרם מתכת, במערכת ניסיונית קטנה. למאמץ זה לא היה המשך, אף שים המלח הוא מאגר משובח של יון זה.

היסוד מגנזיום אינו נדיר כלל (2.5% מקליפת כדור הארץ): קילומטר מעוקב אחד של מי ים פשוטים (1.3 גרם Mg^{++} בליטר) יכולים לספק את כל צורכי האנושות לשנים רבות. למעשה, ייצור המתכת עדיין נעשה ברובו ממי האוקיינוס האטלנטי, הן במזרחו (ארה"ב) והן במערבו (נורבגיה).

ובכל זאת: לנו יש חומר גלם בשפע. מה חסר? - ידע תעשייתי, חשמל זול, ומסורת לאומית של תעשייה מטלורגית!

למה מגנזיום?

כבר עשרות שנים, מגנזיום הוא "מתכת העתיד": הוא מצוי, הוא קל (2/3 מצפיפות אלומיניום), הוא קשה וחזק. הייצור התעשייתי של מגנזיום החל ב-1886 בגרמניה, מחומר גלם שהופק במכרות האשלג שם. בארה"ב החל הייצור במלחמת העולם הראשונה. מלחמת העולם השנייה הקפיצה את הייצור העולמי לרבע מיליון טון כמעט (1944), אבל חמש שנים אחר כך ירד הייצור לעשירית מזה...

מאז חלה עלייה איטית, עד כ-330,000 טון לשנה המיוצרים בימינו.

למה לא מגנזיום?

המגנזיום הוא אלקטרו-נגטיבי חזק (-1.63V), ולתרכובותיו חום היווצרות גבוה מאוד. לכן נדרשת אנרגיה רבה להפקת המתכת מתרכובותיה.

חיזור כימי של התחמוצת, על ידי צורן או אלומיניום, מתרחש רק בסביבות 1250°C - 1150°C , בווקואום גבוה; על ידי קרביד הסידן, ב- 1600°C , ועל ידי פחמן ב- 1800°C . בתנאים אלה מגנזיום הוא גז, שצריך לעבות אותו, ולדחוס או להתיר



מפעל המגנזיום

כלורי עם מי הגבש, ומאפשר לייצר מוצק אלמימי: $KCl \cdot MgCl_2$, מעורבב עם מעט $NaCl$.
 3. פיתוח התהליך והציוד לייצור אלקטרוליטי של מגנזיום הוא ארוך, מסובך ויקר, והיצרנים המעטים הקיימים אינם ששים בדרך כלל למכור את הטכנולוגיה שלהם.

"חלון ההזדמנויות" שנפתח בנושא זה בתחילת שנות התשעים נבע ישירות מהתפוררות ברית המועצות, ומהצורך הנואש של רססיה במט"ח, עד כדי נכונות למכור ידע תעשייתי "אסטרטגי" במחיר סביר. אבל ייצור המגנזיום בחבר העמים מבוסס על קרנליט סינתטי, אשר מופק ממכרות.

חדוע מפעלי ים המלח?

זמינות חומר גלם לבדה אינה תנאי מספיק להקמת תעשייה חדשה. דרושים גם ידע, אנרגיה, כסף ו-רצון!
 רצון הברזל של אדם אחד הנחוש בדעתו

לעבוד קשה ולשלם ביוקר, כדי להביא את חומר הגלם שלהם (ממכרות ובארות תת-קרקעיים, או ממי ימים ואגמים), לניקיון שרק מתקרב לניקיון של מה שאנחנו מחזירים לים המלח...

חדוע קרנליט?

למרות האמור לעיל, אין מפעל המגנזיום בסדום צורך תמלחת מגנזיום כלורי מרוכזת, אלא קרנליט מהסיבות האלה:

1. לצורך ייצור המתכת דרושה הזנה אלמימית (אנהידרית). היחס בין מים לבין מגנזיום כלורי בקרנליט הוא חצי מהיחס בתמלחת.
2. בחימום פשוט לא ניתן לייבש מגנזיום כלורי עד אפס מים: התנדפות מול המים האחרון "מפרקת את החבילה", לפי הנוסחה $MgCl_2 + H_2O \rightarrow MgO + 2HCl$ (זהו, דרך אגב, תהליך הייצור ב"פריקלאס").

השידוך עם KCl בגביש הקרנליט מחליש מאוד את קשר המגנזיום

תערובת קרנליט-מלח, אשר "נקצרת" על ידי דוברות צפות, ונשאבת למפעלים לצורך ייצור כ-2.7 מיליון טון אשלג בשנה. כ-4 מיליוני טון מגנזיום כלורי (כמיליון טון יון מגנזיום!) מומסים במפעלי האשלג, ואחרי איוד בבריכה נוספת (להשבת מעט האשלג שבה) התמיסה מוחזרת לים המלח, בריכוז של יותר מ-30% מגנזיום כלורי - ומעט מאוד מלחים אחרים.

כמות קטנה מהתמיסה (כ-5%), אינה מוחזרת אלא, מאז 1973, נשאבת לגובה 800 מטר, למפעל "פריקלאס" אשר במישור רותם; חברה זו, אחות למפעלי ים המלח, מייצרת מהתמיסה תחמוצת מגנזיום (המעולה בעולם!) וחומצת מלח, על ידי ריסוס לתוך תנור - "ראקטור אמן" (ע"ש דר' יוסף אמן ז"ל, שפיתח את התהליך באוניברסיטה העברית בירושלים).

ובכן, יש כאן פוטנציאל אדיר של חומר גלם באיכות נדירה. לשום מפעל מגנזיום בעולם אין "הלוקוסוס" הזה: כולם צריכים

(משה נבומייסקי) יצר "יש מאין" את תעשיות האשלג והברום מים המלח (Palestine Potash Co., החל ב-1930). במשך שישים שנה נשאר שני אלה "מוצרי הדגל" של החברה, שהתפצלה בינתיים למפעלי ים המלח ולברום ים המלח. התפוקות גדלו מאוד, הטכנולוגיה השתכללה, והכלכליות פרוחה. מלח מצוי מלחי אמבטיה, תמלחות שונות (לייצור מגנזיה, לבתי קירור ולשיכון אבק בדרכי עפר) נמכרו אמנם, אבל היוו סעיף קטן למדי במאזני המפעל.

בשנת 1991 קמה למפעלי ים המלח הנהלה חדשה, שאיתרה את "חלון ההזדמנויות" הנ"ל, זיהתה את הסינרגיה שלו עם מפעלים קיימים בסדום (כפי שיפורט בהמשך), וכך נולד פרויקט המגנזיום. היה גם נתון מסייע חשוב: מדינת ישראל בכלל, ובאר שבע בפרט, מבורכות באזרחים בעלי קשרים מצוינים במכוני המדע והטכנולוגיה של בריה"מ לשעבר.

פבר בבדיקות המקדימות התברר שהקרנליט הטבעי המצוי בסדום בשפע ובזול מתאים ביותר לייצור המתכת בשיטה הרוסית!

והשאל הנייץ?

מתכות אחדות, כגון טיטניום וצירקוניום, מופקות מעפרותיהן בכלוריניציה. הכלורידים המטוהרים מחוזרים למתכת בתהליך תרמי על ידי מגנזיום, שהופך בתהליך זה לכלוריד אלמימי, טהור מאוד. את הכלוריד האלמימי מזינים בעודו מותר, לתאי אלקטרוליזה "מפונקים" (רגישים לזיהומים) אבל יעילים, ומפרקים אותו לכלור ומגנזיום, שמסוחררים למפעל הטיטניום, וחוזר חלילה.

לכן, לכל מפעל טיטניום צמוד מפעל למגנזיום, המקבל הזנה חמה וטהורה, ואין צורך להקיז מהאלקטרוליט שלו (תערובות מלחים מותכים) כדי למנוע הצטברות זיהומים. בתנאים אלה צריכת החשמל לאלקטרוליזה מינימלית, "רק" כ-10 מגוואט שעה (MWh) לטון מגנזיום. בחומרי גלם "מהטבע" יש תמיד תכולת זיהומים מסוימת; קרנליט אלמימי מכיל כ-50% (KCl + NaCl) ואותם יש להקיז בהתמדה מתאי האלקטרוליזה, במצב מותך וחם (מעל 700°); זה מגדיל מאוד את צריכת החשמל, והופך אותו לסעיף העלויות הכבד ביותר.

לצורך המחשה: מפעל המייצר "רק" 4 טון מגנזיום בשעה, צורך כ-100 מגוואט

(MW), כמו עיר בת רבע מיליון תושבים! ולא רק צורך - גם צריך, בלי שום הפסקה. מפני שהחשמל לא רק מפרק מגנזיום כלורי ליסודותיו, אלא גם מחמם את האלקטרוליט, ומונע את התמצקות: אלקטרוליט שהתמצק אינו מוליך זרם, וחייבים לרסק אותו ולפנות אותו, ולבנות את התא מחדש...

לכן אמינות אספקת החשמל חשובה לא פחות מזמינותו, או ממחירו.

סדום נמצאת כידוע, ב"סוף העולם", בקצה קו מתח גבוה המגיע מחוף הים התיכון. כל תקלה בדרך עלולה להתבטא בקצה; לכן נבנתה בסדום גם תחנת כוח חדשה, 110 מגוואט (MW) נטו, וכבר דנים בהרחבתה.

זוהי תחנה קטנה, כעשירית מגודל תחנת הכוח של חברת החשמל, והיא צורכת מזוט - דלק יקר, יחסית לפחם. כדי לספק חשמל במחיר סביר מבוססת תחנת הכוח בסדום על משק חום מסובך למדי, דיזלים ענקיים בראש, דודי קיטור על מפלטי הדיזלים, טורבינת קיטור - וניצול חום העיבוי של הקיטור (אשר בתחנת הכוח של חברת החשמל מחמם את מי הים התיכון) כחום תהליך במפעלי סדום!

שאריות החום, ברמות הנמוכות ביותר, מחממות תמלחת אם של קרנליט הנשאבת מהבריכות הסמוכות; האידוי בבריכות מוגבר, ועמו - יותר קרנליט ויותר אשלג, שהוא "פרת המזומנים" העיקרי של מפעלי ים המלח. הניצול המרבי בסדום של חום שריפת הדלק מבוטא בקרדיט כלכלי, המוריד את עלות החשמל.

ניצוד מייצריני?

א. השבחת הקרנליט

טיב הקרנליט בבריכות (יש 15 בריכות קרנליט, שהתמלחת זורמת בהן בטור, במשך שנה בערך), כלומר, יחס מלח לקרנליט, וכן גודל גבישיו, תלויים במיקום הבריכה בתזרים, בעונת השנה שבה נוצר, וכו'.

מפעלי האשלג בנויים לקליטת תחום רחב של איכויות וגודל גבישים; מפעל המגנזיום "מפונק" יותר. לכן הוא מקבל תרחיף קרנליט אחרי מיון והשבחה ראשונית, פיזיקלית, ממפעל "הגבוש הקר" (מקלף) של אשלג; פה מוסיפים השבחה סופית, וסינון קפדני בצנטריפוגות.

ב. אלמינים (דהידרטיציה)

מי הגבש מסולקים בתטרי ענק, בהם הקרנליט מורחף בגזי שרפת דלק, ומחומם בהדרגה עד למעלה מ-200°. מהתנורים יוצא החומר עם אחוזים מעטים של מי גבש, ועקבות של תחמוצת מגנזיום - תוצאת פירוק הידרוליטי והתנדפות HCl.

ג. כלוריניציה

הקרנליט האלמימי (מוצק לבן ודק) מעורבב עם מעט פחמן (Petroleum Coke) מוזן לתא הראשון של שבעה "סירי" ענק מדופנים בלבנים חסינות אש, ומותר בחשמל (בטמפרטורה מעל 500°). שארית המים מתנדפת, וההיתך גולש לתא השני, שבתחתיתו מבעבע גז כלור, בטמפרטורה שמעל 700°, מתרחשים תהליכים אלה:

(1) כלוריניציה של התחמוצת:



(2) נידוף ברום:



(3) נידוף בורון, ברזל וזיהומי קורט אחדים, ככלורידים.

(4) פירוק עקבות הסולפט שבחומר, תוך נידוף SO₂.

ההיתך המושבח גולש לתא השלישי, ובו הוא מצטלל. שאריות המוצקים (תחמוצת, פירורי לבנים, וכו') שוקעות, וההיתך המוצלל, שצמיגותו דומה לשל מים, מוקז מדי פעם לדליים מדופנים שקיבולם 4 טון כ"א, ומוסע על פלטפורמות ממונעות, למערך האלקטרוליזה, שם מוסיפים לו פלאוריד הסיזן (מחצב טחון).

"בוצת" המוצקים מוקזת פעמים אחדות ביממה מתחתית התא השלישי, מתמצקת ב"אמבטיית" גדולות, ומהווה את הפסולת המוצקה העיקרית של המפעל.

ד. אלקטרוליזה

במערך האלקטרוליזה שני "קווים", יותר מ-20 תאים בכל קו, הפועלים ב-700°. התאים בנויים מפח פלדה, ובתוכם מבנה מסובך מחומרים חסיני אש. האנודות הן מגרפיט, והקתודות מברזל.

בכל מפעלי המגנזיום האחרים בעולם, כל תא אלקטרוליזה (50-100 ק"ג מתכת לשעה) הוא "מפעלון" נפרד, שמקבל את הזנתו מנתית ומקבל "טיפול פרטי" של הוצאת המתכת והאלקטרוליט המנוצל. הרבה עבודת כפיים מתבצעת סביב כל תא, בתנאים לא נעימים כל כך. גם הרצת המפעל בסדום (מדצמבר '96)

החלה כך. אולמי האלקטרוליזה דמו אז לכוורת רוחשת דבורים עמלניות, אנשים בנעליים כבדות ומעילי מגן עבים להגנה מפני נתז חם, גם בקיץ הסדומי הלוהט! מפברואר '98 פועלת האלקטרוליזה כמפעל כימי "נורמלי": סכרי הלבנים שבין התאים נפרצו, ההיתך מהכלורניטורים מוזן לתא הראשון וגולש בגרוויטציה מתא לתא; המתכת והאלקטרוליט המנוצל נשאבים מהתא האחרון בכל קו, ומספר המפעילים קטן בהתאמה. מכאן מתפצל התהליך לשלושה זרמים המפורטים בשלושת הסעיפים הבאים.

ה. מתכת

המגנזיום צף על פני האלקטרוליט ונשאב ל"דליים" מדופנים, 3-4 טון בכל אחד, המובלים לבית הזיכוכ והיציקה. הזיכוכ מתבצע בתנור רציף תחת מעטה גז, המגן מפני חמצון. המתכת המזוככת נשאבת, או ל"סירי" הסגסוג (הוספת מתכות משניות, לפי הסגסוגת המבוקשת: אלומיניום, אבץ, מנגן וכו') ומשם למכונות היציקה, או ישירות ליציקה.

מכונות היציקה בנויות כמסוע שרשרת, שעליו "רוכבות" התבניות, שהן מגשי פלדה מוארכים. תחת גז מגן הן ממולאות במתכת נוזלית, ובמהלך מסען הן מתקררות והמתכת מתמצקת. בקצה המסוע התבניות מתהפכות, והמטילים נופלים לשרשרת אחרת, הנוסעת למכונת אריזה אוטומטית. במסע החזרה

מימי המלך שלמה ועד

דצמבר 1996, לא הופקה

מתכת ראשונית בארץ

ישראל. בעזרת אזרחים

ישראליים, בעלי קשרים

מצויינים במכוני המדע

והטכנולוגיה של בריה"מ

לשעבר, נבדק ונמצא

שהקרנליט, המצוי בסדום

בשפע ובזול, מתאים ביותר

לייצור מתכת מגנזיום

בשיטה הרוסית.

של התבנית ההפוכה אל ראש המכונה היא עוברת ניקוי אוטומטי, ואיבוק בחומרים מונעי הידבקות.

מכונות האריזה מסדרות 800 ק"ג מטילים על כל משטח. כל משטח עם מטילים נעטף ביריעת פלסטיק ומוסע למחסן, ומשם ללקוחות.

המטילים מיוצרים במשקל 8 ק"ג, 15 ק"ג ו-23 ק"ג.

תפוקה: המפעל תוכנן לייצר 25,000 טון מתכת בשנה. תפוקה זו הושגה, ועוד היד נטויה; התפוקה תגדל עוד יותר עם הפסקת הייצור בארה"ב (60,000 ~ טון בשנה) על ידי Dow, הצפויה בקרוב, שתגביר את הביקוש למוצר הישראלי.

ו. כלור

הגז זורם מהתאים, בצינורות ברזל רחבים, אל מערך הטיהור וההנזלה. משום שהמערכת שרויה תחת וקואום קל (למניעת דליפות) נמשך פנימה גם מעט אוויר.

הגזים מתקררים בדרך, ומלחים שהתאדו מהאלקטרוליט ($KCl + NaCl + MgCl_2$) מתעבים לאבק דקיק ("סובלימט"). לכן הגזים עוברים קודם "מקלחת" של מים, ואחר כך מיובשים ב"מקלחת" של חומצה גפרתית, נדחסים בשלושה שלבים, מקוררים ומעובים. הכלור הנוזלי מטוהר במערכת זיקוק, ומוזרם למכלי האחסון.

רובו משמש לייצור ברום בסדום, ומיעוטו לייצור $AlCl_3$ אלמימי (קטליזטור לתגובות אורגניות) ולצרכים אחרים.

תפוקה: היחס הסטויכיומטרי הוא כ-2.9 טון כלור לטון מתכת. היחס המעשי נמוך במעט, וההפרש משמש לצרכים הפנימיים של המפעל, ובסופו של דבר יוצא בשפכים (ראה "אקולוגיה").

ז. אלקטרוליט מנוצל

בגמר האלקטרוליזה, ההיתך מכיל KCl (~70%), $NaCl$ (~20%), $MgCl_2$ (~8%) ועקבות של CaF_2 ו- MgO וכו'.

בסדום מומש לראשונה תהליך למיצוק ההיתך, השונה מזה שהיה נהוג בבריה"מ: ההיתך נשאב לתאי פח גדולים, מרוסס שם ומקורר בזרם עז של אוויר. הטיפות מתמצקות במעופן ל"חול", שמובל לגימור במפעל האשלג.

דרך אגב: כך נחסכים המים הדרושים בדרך כלל ל"פירוק" הקרנליט (המסת $MgCl_2$). זהו קרדיט כלכלי נוסף למפעל המגנזיום!

ח. אקולוגיה

מהמפעל נפלטים זרמים אחדים של גזים

"בלתי ידידותיים".

העיקריים שבהם הם אלה:

- מתנורי אלמיים הקרנליט נפלטים גזי שרפה מנוצלים, המכילים ריכוזים נמוכים של HCl , SO_2 ואבק קרנליט.
- מהכלורניטורים נפלט עודף הכלור עם ברום, תחמוצות גפרית וכו'.
- מהנזלת הכלור נפלט האוויר שנסחף בכלור הגולמי, ובו עקבות כלור.

כל הזרמים האלה מטופלים במשטפות (Scrubbers) של חלב סיד. נוצרות תמיסות בסיסיות המכילות כלורידים, היפוכלורית וברומאט של סידן. התמיסות נצברות בבריכות פתוחות, ומתפרקות לאט בהשפעת קרני השמש.

קיימות "תכניות מגירה" לניצול פוטנציאל החמצון של התמיסות למוצרים עתידיים.

ט. מה הם "מזהמים" - ולמה הם רעים? "המדללים" העיקריים של מגנזיום כלורי בקרנליט הם מלח ואשלג; נוכחותם מעלה אמנם את צריכת האנרגיה, אבל לתהליך עצמו אין הם מזיקים, ואפילו מועילים כשהם מצויים במידה הרצויה (מעלים את מוליכות האלקטרוליט, ומאפשרים את הגברת הייצור).

ומה מפריע?

- גופרה: יון SO_4^{2-} מחמצן מגנזיום, וכן מחמצן את אנודות הגרפיט, ומגביר תגובה חוזרת של מגנזיום עם כלור.
- תחמוצת: חמצון מגנזיום סמוך לאנודה גורם לציפיה בקרום תחמוצת שאינו מוליך חשמל ("פסיביציה"). צפיפות הזרם מסביב לאזור המצופה עולה, וגורמת התחממות יתר מקומית שאינה רצויה.
- מלחי ברזל, מנגן, כרום, ניקל, נחושת וכל מתכת "אצילה" יותר ממגנזיום: הן מחוזרות על ידי מגנזיום "טרי", ויוצרות שני סוגי תקלות:

א) זיהום התוצרת. תכולה זעומה של ניקל ונחושת, למשל, גורמת להאצה דרמטית של קורוזיית מוצרי מגנזיום.

ב) בטמפרטורת האלקטרוליזה הן מוצקות; יוצרות קרום נקבובי על פני הקתודה, שכולא תחמוצת מגנזיום ומגביר פסיביציה.

4. תחמוצות צורן ואלומיניום גורמות לחמצון מגנזיום, ולזיהום התוצרת.

5. בורן מוריד את מתח הפנים של ההיתך; זה פועל כדטרגנט על שמן במים, מאט את התלכדות טיפות המתכת ובעות הכלור, ואת ציפתן אל פני האלקטרוליט. התפוקה יורדת והפסדי התהליך עולים.

ד"ר טוביה ציזנר

בן לפועל

2-Potash Company, Palestine

בוגר הנדסה כימית

בטכניון ובעל תואר

דוקטור בהנדסת חומרים

מהאוניברסיטה הטכנית

של טוקיו. עובד במפעלי

ים המלח משנת 1961.

שימש בין היתר, כמהנדס

ראשי בחברת פמ"א

(פתוח משאבי אנרגיה)

במישור רותם, מנהל

המחקר בחברת מפעלי

ים-המלח, ויועץ מדעי בשגרירות ישראל בטוקיו.

היה נשיא האגודה הישראלית להנדסה כימית

וקיבל חברות כבוד באגודה. מפעלים שנסדו

כתוצאה ישירה של פעילותו במחקר ובפיתוח היו:

פריקלאס במישור רותם, וגיבוש קר של אשלג

במפעלי ים-המלח.



■ תחמוצות צורן ואלומיניום מקורן בהתמוססות באלקטרוליט של הלבנים חסינות האש.

מידת הרגישות של התהליך לזיהומים משתנה: מ-ppm אחדים במקרים של ניקל ובורון, עד מאות אחדות של ppm לגופרה, ועשיריות אחוז (אלפי ppm) אחדות לתחמוצת מגנזיום.

הבעת תודה:

תודתי נתונה לעמיתי באגפי המחקר, השיווק והייצור של חברת "מגנזיום ים המלח בע"מ" על תרומתם להיקף הכתובים ולדיוקם.

לעומת זה יון פלואוריד מעלה את מתח הפנים, ומסייע להפרדת התוצרים מהאלקטרוליט. לכן מוסיפים אותו.

מאין באים הזיהומים?

- רובם מגיעים בחומר הגלם, ומבחינה זו מצבנו בסדום טוב מכל מפעלי המגנזיום האחרים.
- הדלק הכבד המשמש לייבוש הקרנליט "תורם" גפרית ועוד.
- זיהומי ברזל, ניקל, כרום ונחושת עלולים להופיע כתוצאה של קורוזיה של ציוד במפעל.

הקדמה

בחירת מקצוע ותעסוקה בחיים היא אחת ההחלטות החשובות ביותר שמקבל האדם בחייו, הן בהיותו מתבגר, והן בשלב מאוחר יותר בחייו, בשל הרצון להסב מקצוע או בשל פיטורין. אין ספק אפוא, כי מערכת השיקולים המלווה את תהליך קבלת ההחלטות באשר לבחירת מקצוע, היא מורכבת ביותר, והיא כוללת היבטים שונים הנוגעים לתכונות האישיות של האדם ולמהות העיסוק ולעולם שבו חי האדם. במרבית המקרים תחום התעסוקה הנבחר מחייב לימודים גבוהים (במכללה, באוניברסיטה וכדומה). לימודים גבוהים מחייבים מסלול חיים די מוגדר למשך שנים מספר, שבסופו מוצא עצמו האדם במגזר עסקי זה או אחר, לשיעור רצונו או, חלילה, למרבה אכזבתו. לפיכך, כל נתון אשר יכול לסייע למתבגר במהלך השקלול של הגורמים השונים המשפיעים על החלטתו, רצוי שיהיה מונח לפניו בטרם יקבל את החלטתו הסופית.

שני גורמים "חיצוניים" (שאינם קשורים בנטייתו האישית של האדם לעיסוק זה או אחר ובכישוריו האישיים) בעלי חשיבות בתהליך קבלת ההחלטה באשר לבחירת מקצוע בחיים, הם התמורה הכספית ומצב שוק העבודה - ההיצע של בעלי מקצוע מסוים לעומת הביקוש לבעלי המקצוע המסוים. הנתונים העדכניים הנוגעים לשני גורמים אלה נאספו לאחרונה בסקר תעסוקת כימאים שנערך בבתי ספר תיכוניים, בתעשייה הכימית, במערכת הביטחון ובאוניברסיטאות המכשירות כימאים לשלושת התארים. נתונים נוספים נמסרו לי ממשרד התעשייה והמסחר (תמ"ס) ומהלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (למ"ס). הכתוב להלן מפרט את ממצאי הסקר.

התעשייה הכימית - מאפיינים

טבלה מס' 1 מפרטת כמה נתונים הנוגעים לתעשייה הכימית בישראל.

טבלה מס' 1. התעשייה הכימית בישראל (נתונים 1997-1998 כפי שנמסרו מהלמ"ס ומהתמ"ס)

| הנושא | הנתון המספרי |
|------------------------------|------------------|
| מכירות (בארץ ויצוא) | 7 מיליארד דולר |
| מתוכן יצוא | 2.8 מיליארד דולר |
| היצוא הכימי מכלל היצוא | 25% |
| חלקה של התעשייה הכימית בתל"ג | 6% |
| מספר העובדים בתעשייה הכימית | 21,700 |
| מכירות לעובד | 323,000 דולר |
| משכורת ממוצעת בתעשייה הכימית | 9,841 ש"ח |
| משכורת ממוצעת בתעשייה | 7,389 ש"ח |
| משכורת ממוצעת במשק | 6,209 ש"ח |

הנתונים בטבלה מלמדים כמה דברים: א. תרומת התעשייה הכימית לכלכלת המדינה משמעותית ביותר. התעשייה הכימית היא אחת מתחומי היצוא הגדולים (התחום השני אחרי אלקטרוניקה); ב. התפוקה לעובד גבוהה למדי, מביין הגבוהות לעומת מגזרים אחרים; ג. משכורת ממוצעת בתעשייה הכימית גבוהה ביותר מ-30% מהמשכורת הממוצעת במגזר התעשייתי, וגבוהה ב-60% בקירוב מהמשכורת הממוצעת במשק. כלומר, מבחינת התגמול הכספי והערכי, התעסוקה בכימיה כדאית ומושכת. בנקודה זו יש להעיר כי הפוטנציאל (במובן הכלכלי) של התעשייה הכימית בארץ גבוה במידה רבה מזה המנוצל כיום. מאמרו מאיר העיניים של פרופ' ראובן וקס (1) מציין כיווני מחשבה ואפשרויות לפיתוח, שעל קברניטי התעשייה הכימית לשקול בכובד ראש.

התעשייה הכימית עתירת הון, והשקעות הפיתוח הגבוהות מיועדות לאנשי מקצוע ברמה גבוהה העובדים בייצור. נוסף על כך, תחומי המחקר והפיתוח ותחום

בקרת הטיב והאיכות זקוקים לכימאים ברמה גבוהה בעלי כישורים מתאימים. תחומים נוספים שבהם משתבצים הכימאים בתעשייה הכימית בפרט, ובתעשייה בכלל, הם הרכש, השיווק, הבטיחות, איכות הסביבה, רישוי ופטנטים, מידע, ואף יחסי ציבור וקשרים עם הקהילה. כל אלה, ותחומים אחרים שלא נזכרו, מחייבים השכלה גבוהה בכימיה והשכלה כללית רחבת אופקים, גמישות והתאמה לדרישות משתנות, יכולת לעבוד בצוות, כושר ביטוי מעולה בכתב ובעל-פה ועוד. האתגר בתעסוקה זו רב, ורב הסיפוק בהצלחה, הן משום שהמוצר או התהליך שפותחו הופכים להיות פריט שנמכר בארץ ובעולם, והן משום שהכימאי פותר בעיה, מתגבר על קשיים ומפעיל את הידע והניסיון שרכש בדרך נאותה וחכמה.

סקר תעסוקה

במסגרת סקר תעסוקת כימאים בתעשייה ובמערכת הביטחון פניתי לכ-150 מפעלים כימיים וחברות העוסקות בכימיקלים בבקשה לפרט את מספר הכימאים המועסקים במפעל, את מידת התחלופה השנתית הממוצעת בקרב הכימאים, ולא פחות חשוב - תחזית גידול לשנים הקרובות. מספר קטן של חברות לא הגיבו לפנייתי, ולא הצלחתי ליצור עמן קשר כלשהו, וכן מספר מצומצם של חברות לא נענו לבקשה לפרט את תעסוקת הכימאים. להלן ממצאי הסקר העיקריים.

שיעור העסקת כימאים

מתוך כ-140 מפעלים וחברות שהגיבו בחיוב, כ-30% ציינו שאינם מעסיקים כימאים. כלומר, יש חברות העוסקות בכימיקלים: ביבוא-יצוא ובעיקר בייצור חומרים ותכשירים, אשר מסתפקות בהעסקת מהנדסי כימיה בשלבי הייצור והבקרה, ובהעסקת טכנאים והנדסאי כימיה במערכות האנליזה והבדיקות. גם חברות תכנון אינן מעסיקות כימאים אלא מהנדסים בלבד. יתר המפעלים והחברות (קרוב ל-100) מעסיקים כ-1,300 כימאים במספרים שונים: יותר ממחציתם מעסיקים 1-5 כימאים, כחמישית

* נשיא החברה הישראלית לכימיה
* ברשימה זו אני נוקט לשון זכר מטעמי נוחות
הכתיבה בלבד, והדברים הנאמרים מתייחסים לנשים וגברים כאחד.

אם כן המעסיק הוא מפעל כימי. במקרה כגון זה, יש לכימאי קשר עם כימאים אחרים הוא יכול להשתתף בכנסים של החברה הישראלית לכימיה, והוא נמנה עם הכימאים במפעל. כל הפונים לחברות תכנות ומחשבים אינם נספרים עוד (לצערנו) במסגרת הכימאים בארץ (ראה להלן).

היקף הדרישה הכוללת

סיכום כל הנתונים המספריים שפורטו לעיל מצביע על דרישה שנתי של 150-200 כימאים, מרביתם בעלי תואר שני ושלישי (לתעשייה) ובעלי תואר ראשון (להוראה). השאיפה היא שגם בתחום ההוראה תשתנה המגמה, ויותר מורים יעשו את עבודת המחקר לתואר שני (ואולי אף שלישי) בטרם יפנו להוראה, או ישלבו לימודים לתואר שני במהלך שנת השבתון הראשונה. נשאלת השאלה: מה עושות האוניברסיטאות כדי ליצור כוח אדם מיומן וברמה גבוהה.

הכשרת כימאים

מספר המסיימים לימודי כימיה ברמות השונות בחמש האוניברסיטאות (אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, אוניברסיטת בר-אילן, אוניברסיטת תל-אביב, האוניברסיטה העברית, הטכניון) ובמכון ויצמן למדע מוצג בטבלה מס' 2.

טבלה מס' 2. מספר המסיימים לימודי כימיה בשנים תשנ"ד-תשנ"ח (1994-1998)

| השנה | מסיימי תואר ראשון | מסיימי תואר שני | מסיימי תואר שלישי |
|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| תשנ"ד (94) | 271 | 91 | 49 |
| תשנ"ה (95) | 260 | 100 | 52 |
| תשנ"ו (96) | 228 | 115 | 79 |
| תשנ"ז (97) | 189 | 95 | 75 |
| תשנ"ח (98) | 158 | 73 | 60 |
| מוצע רב-שנתי | 220 | 95 | 62 |

ממצא ראשון הבא לידי ביטוי בטבלה שלעיל, הוא כי לקראת המחצית הראשונה של שנות ה-90 היה מספר המסיימים תואר ראשון גדול מ-250, ולאחר מכן החלה ירידה הנמשכת גם בשנים אלה. ממצא שני הנלמד מנתוני הטבלה שלעיל מורה על כך כי פחות ממחצית הבוגרים ממשיכים ללימודים מתקדמים בכימיה (תואר שני,

כולם כ-95%) בעלי תואר בכימיה (ברמות השונות). התחלופה בהוראה היא 5%-6% בשנה, כך שדרושים 50-60 מורים לכימיה מדי שנה רק כדי לשמור על מספר המורים הקיים. תחזית הגידול במספר מורי הכימיה ובמספר התלמידים הלומדים מקצוע זה מותנית בכמה גורמים, ובראש ובראשונה - בהכנת תוכנית לימודים בכימיה חדשה ומושכת, רלבנטית לסביבה, מעוררת עניין ובעלת אתגר, ובכך שילמד אותה צוות מורים יצירתי ונלהב. גורם נוסף הוא תוכנית לימודים רב-תחומית חדשה - "מדע וטכנולוגיה בחברה" (מוט"ב) - הנמצאת עתה בשלבי ניסוי. אין ספק שהפעלתה בהיקף מלא בכל בתי הספר התיכוניים ובחטיבות הביניים בארץ תביא להרחבת מעגל המורים לכימיה. על המחלקות להוראת המדעים באוניברסיטאות להכין עצמן לתוכנית החדשה, שכוחה יפה גם במקצועות הפיזיקה והביולוגיה.

תעסוקה באוניברסיטאות ובמכללות

מספר חברי הסגל הכימאים באוניברסיטאות עומד על כ-300, ולצדם עוד 650-700 תלמידי מחקר לתואר שני ושלישי, אשר מקצתם מצטרפים למעגל העבודה מדי שנה. חברי הסגל האקדמי שוהים במשרתם כ-30 שנה ויותר בטרם ייצאו לגמלאות, והתחלופה השנתית נמוכה. בשנים הקרובות עומד להתחלף דור של כימאים בכמה אוניברסיטאות, ויווצר מחסור בכימאים מצטיינים בתחומי המחקר השונים. מצב זה פותח אפשרויות לכימאים העומדים לסיים את לימודיהם לתואר שלישי או הנמצאים בתחילת תקופת בתר-דוקטורט (פוסט-דוקטורט). "חלון הזדמנויות" זה יקטן לאחר כ-5 שנים, אך מכאן ואילך תהיה תחלופה הדרגתית ומסודרת יותר, מאחר שבשני העשורים האחרונים החלה בנייה נכונה יותר של צוות חברי הסגל (מבחינת הגיל). לאחר מכן, ניתן להניח, שתהיה תחלופה של אחוזים אחדים לשנה, משמע, 5-15 חברי סגל חדשים במחלקות לכימיה/בפקולטות לכימיה / ובמכוני לכימיה.

רק כמה מן המכללות כוללות את מקצוע הכימיה בין מקצועות הלימוד שלהן, ואם לא יחול שינוי מהותי, אין לראות בהן מקום תעסוקה נרחב לכימאים.

תעסוקה אחרת

יש כימאים הפונים לתחום המחשבים ויוצאים מהמעקב של בוגרי כימיה, אלא

מעסיקים 6-10 כימאים, כעשירית 11-30 כימאים, ועשירית נוספת מעל 30 כימאים. פחות מ-30 מהכימאים הם בעלי תואר ראשון בכימיה, כ-40% בעלי תואר שני, והיתר בעלי תואר שלישי. כלומר, כימאים בעלי תואר ראשון אינם מהווים גורם מרכזי בתעשייה הכימית (ראה להלן). ניתן גם לומר, שהכימאים המועסקים בתעשייה הכימית הם בממוצע גרעין של 5%-6% מכלל העובדים בה.

תחלופה

במרבית המפעלים המעסיקים מספר קטן של כימאים אין כמעט תחלופה ואין כמעט תחזיות גידול לשנים הקרובות. עיקר התחלופה היא, כצפוי, במפעלים הבינוניים והגדולים, והממוצע הוא 5%-10% בשנה. כלומר, מתוך 800-900 כימאים במפעלים אלה, 40-80 כימאים מפנים מקומם לכוח-אדם מקצועי חדש מדי שנה.

תחזיות גידול

קשה לכמת תחזיות גידול, אך התמונה המצטיירת היא שכלל המפעלים המצוינים התרחבות, מתכננים קליטה והרחבה (מעבר לתחלופה השנתית) בהיקף של 30-50 כימאים בשנה במשך השנים הקרובות.

הדרישה לתעסוקה בתעשייה הכימית

לאור הנתונים המופיעים לעיל, לשם מילוי צורכי התעשייה הכימית מבחינת תחלופת כוח אדם וגידול בכוח אדם, יידרשו בשנים הקרובות 70-120 כימאים בשנה. מתוך שיחות עם מנהלי מפעלים, את מקומם של כימאים בעלי תואר ראשון תופסים טכנאים והנדסאים, והביקוש הוא לכימאים בעלי תואר שני ושלישי (שהם כ-70% מכלל הכימאים בתעשייה ובמערכת הביטחון). ואמנם בתשובה לשאלה בדבר תחזיות גידול, ציינו המפעלים במפורש שהם מחפשים בעיקר כימאים בעלי תואר שני ושלישי. נתון זה מעיד על הצורך של הכימאים להמשיך בלימודים לאחר קבלת התואר הראשון, כדי למצוא תעסוקה מעניינת ורבת אתגר בתעשייה הכימית (ראה להלן).

תעסוקה בבתי ספר תיכוניים

מערכת ההוראה התיכונית מעסיקה כ-1,000 מורים לכימיה, אשר כמעט

והמצטיינים מתחילים במסלול ישר לתואר שלישי. על סמך נתונים אלה ונתון נוסף, המלמד כי מעטים מהבוגרים פונים ללימודים מתקדמים במקצועות אחרים, בעיקר מנהל עסקים ומקצועות כלכלה וחברה, אפשר להסיק כי מחצית הבוגרים יוצאים ישירות לשוק העבודה. לפי הנתונים שנאספו, נראה, כי מבין בעלי תואר שני, כשליש עד מחצית ממשיכים ללימודי תואר שלישי, והיתר מצטרפים למעגל הכימאים במגזרים השונים. ברור כי מספר הכימאים המרבי היוצאים לשוק העבודה ככימאים הוא כמספר בוגרי כימיה בתואר ראשון (בהנחה שאין נוטשים את המקצוע). לפיכך, בממוצע רב-שנתי, מספר הכימאים המצטרפים למעגל העבודה הוא 100-120 בעלי תואר ראשון, 60-80 בעלי תואר שני, ו-40-50 דוקטורים צעירים; סך הכל 200-250 כימאים ברמות השונות (המספרים הנקובים כאן שונים במעט מאלה הרשומים בממוצע הרב-שנתי בטבלה, מאחר שיש תלמידי תואר שני ושלישי הנספרים פעמיים, ויש תלמידים הבאים מחו"ל ואינם נשארים בארץ לאחר סיום לימודיהם).

דיון

משך תקופת הסקר

תקופה של חמש שנים קצרה מכדי לבחון מגמות או מחזוריות, וכן היא עלולה להטעות משום שהיא אינה מייצגת נאמנה את המצב לאשורו במשך תקופה ארוכה יותר. ייתכן שהסקר משקף מצב הסוטה באופן משמעותי מהמצב הרגיל, או משום שהוא מציג מספרים גדולים של בוגרים, או משום

"משחק הכוחות" של השוק

יוספת את מספר הלומדים

כימיה, דבר שייאפשר

לשמור על רמה גבוהה של

בוגרים ומתמחים.

שלחלופין, הוא מציג מצב של ירידה ניכרת במספר הלומדים כימיה כחלק ממחזוריות של 10-15 שנים. לפיכך, יש להתייחס לנתונים המוצגים בטבלה מס' 2 בזהירות ובהסתייגות. ועם זה נתונים אלה מלמדים על המגמה הכללית של הלומדים כימיה והמסיימים את לימודי הכימיה ברמות השונות.

פער בין שיעור הכימאים

שעברו הכשרה לבין דרישות השוק

ניתוח הנתונים מראה כי כושר הייצור של האוניברסיטאות בתחילת העשור עלה אך במעט על צורכי השוק, ואילו בשנים שיבואו עלול להיווצר מחסור בכימאים הממלאים את צורכי השוק. כבר עתה אנו עדים למחסור בכימאים לתעשייה, בעיקר בתחום הכימיה האנליטית וכן בתחום הסינתזה. ואכן במשך שנים אני עוקב אחרי בוגרי הכימיה ואיני מוצא כימאי המובטל במשך תקופה ארוכה. ההסבר לתופעה זו נעוץ בשני גורמים:

- א. אחוז גבוה מבוגרי הכימיה הן נשים, ומקצתן פורשות מהמקצוע (או דוחות את תחילת העבודה) בשל שיקולים משפחתיים;
- ב. נטישת מקצוע הכימיה ומעבר לענף אחר, בפרט למחשבים, לעיבוד נתונים, למערכות מידע וכדומה.

כמות ואיכות של כימאים

בחינת הנתונים בטבלה מס' 2 מצביעה על מגמה מדאיגה: לאחר עלייה מסוימת במספר מסיימי מקצוע הכימיה במחצית שנות העשור הנוכחי (נתונים של סוף שנות ה-80 ותחילת ה-90' הראו על מגמת ירידה), חלה ירידה במספרם. לא ברור עדיין אם זו המחזוריות הרגילה של עליות וירידות במספר הלומדים, הקיימת בלימודים במדעי הטבע בכלל ובלימודי כימיה בפרט, או שהתופעה מרמזת על מגמה חדשה של אובדן מעמד מקצוע הכימיה כמקצוע מושך ומרתק בהשוואה ללימודי מחשבים, מנהל עסקים ומקצועות דומים. האם הגל הגואה במקצועות אלה דומה לזה שהיה בזמנו בלימודי משפטים ואשר החל לדעוך עם פתיחת שיערי מחלקות אלה לרווחה בכמה אוניברסיטאות, והאם השינוי הוא זמני או קבוע? הרחבת הדיון בתופעה זו מקומה במאמר המיוחד לנושא.

העניין המטריד יותר הוא הירידה ברמת המתקבלים לכימיה בשנים האחרונות.

כמו בעבר, המקצועות המושכים את מיטב המתקבלים לאוניברסיטאות הם אלה: רפואה, משפטים, מדעי המחשב, הנדסת חשמל ומחשבים, כלכלה, ולאחרונה תעשייה וניהול. יעידו על כך חתכי הקבלה במחלקות השונות. הורדת סף הקבלה למקצוע הכימיה עלולה לגרום נזק קשה למקצוע בשלב הלימודים, בשלב הכניסה לעבודה ובעיקר בשלב ההכשרה של סגל המורים והחוקרים של העשורים הבאים. עמדתי הנחושה היא שאין לרדת ברמת הנקלטים במחלקות לכימיה, גם אם מלווה הדבר בהפחתה זמנית במספר הלומדים והמסיימים בכימיה. המחסור שיווצר בשוק יגרום לכך שמשכורות הכימאים בתעשייה יעלו, ותלמידים מצטיינים יראו במקצוע הכימיה עיסוק שיש עמו תמורה כספית הולמת, כפי שהיה בעבר, נוסף על האתגר האישי והעניין שיש להם בו. "משחק הכוחות" של השוק יוסת את מספר הלומדים כימיה, דבר שיאפשר לשמור על רמה גבוהה של בוגרים ומתמחים. איכות הכימאים הצעירים היא שתקבע את האיכות של ההוראה, של המחקר, של הפיתוח ושל ה"ייצור". יישום ההמלצות של פרופ' וקס במאמרו (1) הוא האתגר של התעשייה הכימית, ורק כימאים בעלי רמה, בעלי ידע, בעלי מחשבה יצירתית ובעלי ניסיון יוכלו להתמודד עם אתגר רציני וחיוני זה.

תודות

נתונים מהאוניברסיטאות התקבלו מהמזכירות של המחלקות לכימיה או של הפקולטות לכימיה, ונתונים נוספים התקבלו מהלשכה המרכזית לסטטיסטיקה וממשרד התעשייה והמסחר - על כך מודה אני למזכירות של המוסדות השונים. תודתי נתונה גם לכל מנהלי המפעלים וראשי האגפים למשאבי אנוש בתעשייה, על המידע שהעבירו בשאלונים ובשיחות הטלפון. ד"ר אבי הופשטיין, המפקח על הוראת הכימיה, יבורך גם הוא בשל המידע שהעביר. כן אני מודה לגב' דורות אימבר על העריכה הקפדנית של הרשימה.

מקורות

1. ראובן וקס, הפוטנציאל הכימי של ישראל, כימיה והנדסה כימית, גליון 24, מרץ 1996, עמ' 20-25.

יום ד', 17 במרץ 1999

| | |
|---------------|---|
| 10:00 - 09:00 | אולם מינץ - ישיבת מליאה: פרופי אהרון גדנקן, אוני בר-אילן, שימוש בגלי קול להכנת חלקיקים בעלי גדל ננומטרי. |
| 17:00 - 14:30 | 4 סימפוזיונים מקבילים בנושאים: כימיה תרופתית, כימיה סינתטית (המשך), כימיה תעשיתית, כימיה של פני השטח ואלקטרוכימיה (המשך). |
| 10:30 - 10:00 | הפסקת קפה ועוגה |
| 13:00 - 10:30 | 4 סימפוזיונים מקבילים בנושאים: כימיה פיסיקלית, כימיה סינתטית, כימיה סביבתית, כימיה של פני השטח ואלקטרוכימיה. |
| 17:30 - 17:00 | הפסקת קפה ועוגה |
| 18:30 - 17:30 | אולם מינץ - הרצאת מליאה Prof. Donald Hilvert, E.T.H Biocatalysis, dendrimers, and catalysis with transition-metal complexes. |
| 14:30 - 13:00 | ארוחת צהריים, תערוכת פוסטרים, תצוגת חברות מסחריות. |

מידע כללי:

מקום:

הכינוס יתקיים בקמפוס אוניברסיטת בר-אילן, רמת-גן.

מועד:

ימים ג-ד, 16-17 במרץ, 1999.

דמי רישום:

לנרשמים עד לתאריך 20 בפברואר 1999

משתתף מלא (יומיים) - \$ 125 כולל מע"מ

המחיר כולל: השתתפות בהרצאות, תיק ותג משתתף, ספר תקצירים, שתי ארוחות צהריים, ארבע הפסקות קפה ועוגה וחברות שנתית בחברה הישראלית לכימיה לשנת 1999.

משתתף ליום אחד - \$ 85 כולל מע"מ

המחיר כולל: השתתפות בהרצאות, תיק ותג משתתף, ספר תקצירים, ארוחת צהריים, פעמיים קפה ועוגה וחברות שנתית בחברה הישראלית לכימיה לשנת 1999.

מורה, סטודנט וגימלאי מלא (יומיים) - \$ 50 כולל מע"מ

המחיר כולל: השתתפות בהרצאות, תיק ותג משתתף, ספר תקצירים, שתי ארוחות צהריים, ארבע הפסקות קפה ועוגה וחברות שנתית בחברה הישראלית לכימיה לשנת 1999.

מורה, סטודנט וגימלאי ליום אחד - \$ 38 כולל מע"מ

המחיר כולל: השתתפות בהרצאות, תיק ותג משתתף, ספר תקצירים, ארוחת צהריים, פעמיים קפה ועוגה וחברות שנתית בחברה הישראלית לכימיה לשנת 1999.

דמי חבר:

דמי ההרשמה כוללים תשלום דמי חבר שנתיים בחברה הישראלית לכימיה כדלהלן:

חבר סגל אקדמי/עובד תעשייה - \$ 25 כולל מע"מ
מורה/סטודנט/גמלאי - \$ 10 כולל מע"מ

מדיניות ביטול:

עד לתאריך 10.2.99 - החזר מלא פחות 30% דמי טיפול.
לאחר 28.2.99 - ללא החזר.

תחבורה:

אוטובוס דן מס' 60,61 מרכבת צפון, תל אביב עד לרמת עמידר, ר"ג, אוטובוס מס' 30 מהתחנה המרכזית החדשה, תל אביב.

חנייה:

חנייה בתשלום במגרשי החנייה הסמוכים לאוניברסיטת בר-אילן.

מזכירות הכינוס:

חברת דן כנסים בע"מ, טל: 03-6133340, פקס: 03-6133341 דואר אלקטרוני: congress@mail.inter.net.il



הנדון: אסיפה כללית - במסגרת הכינוס ה-64 של החברה

הנכם מוזמנים בזה לאסיפה כללית של החברה הישראלית לכימיה אשר תתקיים ביום שלישי, כ"ח אדר תשנ"ט (16.3.99) בשעה 14:00, במסגרת הכינוס ה-64, המתקיים באוניברסיטת בר-אילן. הפגישה תתקיים באולם מינץ.

על סדר היום:

1. דו"ח הנשיא
2. אישור המאזן לשנת 1998 (יופץ במהלך הכינוס לעיון החברים)
3. דיון על דו"ח הנשיא
4. שונות

ברכה,
ארנון שני

דו"ח הנשיא לשנת 1998

בהשתתפות שר המדע מר סילבן שלום, נציגי התעשייה הכימית ונכבדים נוספים.

בימים אלה מארגנים פעילות של מאות תלמידי תיכון באוניברסיטת בר-אילן, וכן מתוכננות פעילויות נוספות באזורים השונים.

- אתר האינטרנט הוקם ומתרחב, ככל שמגיע חמר מתאים. כתובת האתר (זמנית): <http://www.weizmann.ac.il/ICS>
- הבטאון של החברה חוזר ויצא לאור ושמו "כימיה בישראל", כפי שרואים בחוברת זו.
- נערך סקר תעסוקה של כימאים בתעשייה הכימית וכן נאספו נתונים על הכשרת כימאים במוסדות להשכלה גבוהה. סכום הנושא מופיע בחוברת זו.
- מספר המפעלים הכימיים החברים בחברה עלה ל-26, לאחר שחברת "כימיקלים לישראל", צרפה את כל החברות הבנות שלה במהלך כולל.
- בוצע החזר חלקי של החוב לפרופ' שצמילר בגין "הכימאי לישראל" משנת 1996. יתרת החוב תוחזר בשנת 1999.

עיקר הפעילות השנה התמקדה בהכנות ופתיחת שנת הכימיה הבינלאומית תשנ"ט (1998/9).

עד כה בוצעו הפעילויות הבאות:

- תצוגת הכימיה בביתן המדע בתערוכת היובל.
- ימים פתוחים בבתי ספר תיכוניים.
- אולימפיאדה בכימיה - כימיה-ידה - לבני הנוער, אשר במהלכה השתתפו מאות רבות של תלמידי תיכון, ולשלב הגמר העפילו 13 מתחרים (פרטים על הכימיה-ידה ניתן לקרא בעמוד 39). שלב הגמר יתקיים בסוף חודש מרץ הקרוב.
- הופק מוסף מיוחד "מולקולה" בשיתוף עם עתון "הארץ" (המוסף מחולק למשתתפי הכנס).
- הרצאות לצבור הרחב בנושאים כימיים ברמה פופולרית.
- התקומו ראיונות של כימאים (פרופ' ראובן וקס - עתון "גלובס", רב-שיח במוסף "מולקולה") ומתוכננים ראיונות נוספים בעתיד הקרוב.
- טכס פתיחת שנת הכימיה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים מודיעה:

סדרת הרצאות אינשטיין של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים מתקיימת כל שנה ביום הולדתו של המדען הדגול ונועדה להנצחת שמו.

ביום שני, כ"ז באדר תשנ"ט (15 במרס 1999) בשעה 20:00

תערך הרצאת אינשטיין בבנין האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים.

מרצה: פרופ' Albert Exchenmoser, חתן פרס וולף, משוויץ.

נושא ההרצאה: Chemistry and the Origin of Life.

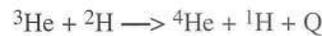
מאיץ החלקיקים ואן דה גרף במכון וייצמן 1958-1998

מפיסיקה גרעינית אל חקר חומרים דחוסים

יעקב קליין - המחלקה לחומרים ופני שטח, מכון וייצמן למדע

תחום מחקר פורה אחר הוא אפיון פני השטח של מוליכים למחצה על-ידי קבוצתו של רשף טנא, מהמחלקה לחומרים ופני שטח, בשיתוף פעולה עם מקס פסח. שיטות גרעיניות מתאימות מאוד למחקר כזה הודות לרגישותן הגבוהה, עומק חדירתן והיותן בלתי-הרסניות. נחקרו כמה טיפולים כימיים בפני שטח של מוליכים-למחצה, טיפולים הקשורים לשימוש בתאים פוטואלקטרוכימיים להמרת אנרגיית השמש. אחד הנושאים הוא השפעת ספיחת Cs וצריבה פוטואלקטרוכימית על תפקודם של תאים פוטואלקטרוכימיים המורכבים משכבות של תרכובות VI-II (כגון CdSe) וכן VI-IV (כגון WSe₂).

של חומר פולימרי שכמה מהמולקולות שלו סומנו על-ידי החלפת מימן ¹H בדאוטריום ²H כאשר יוני ³He חודרים לחומר ופוגעים באטום ²H מתקיימת הריאקציה הגרעינית שלהלן:

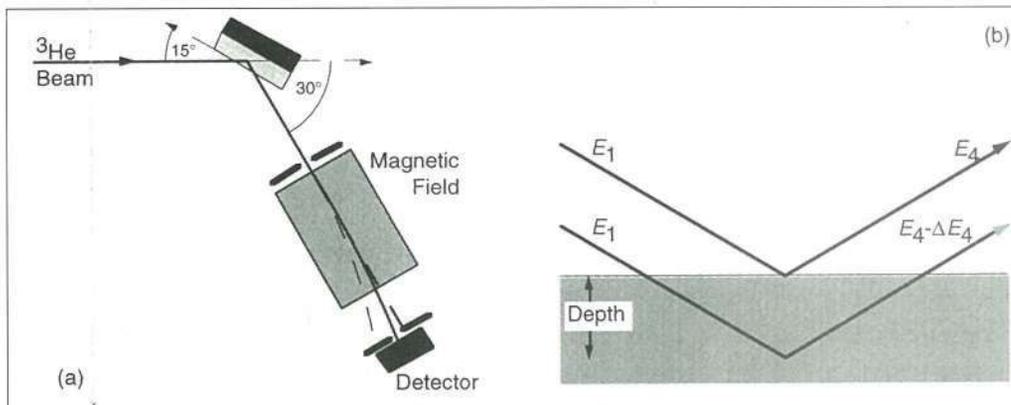


כאשר Q מסמן אנרגיה עודפת גדולה המשתחררת בריאקציה האקסותרמית. האנרגיה המשוחררת הופכת לאנרגיה קינטית עודפת בחלקיקים ⁴He + ¹H שאך נוצרו, והם נזרקים לכל הכיוונים. מערך הניסוי מתואר באיור שלהלן: על-ידי זיהוי ספקטרום האנרגיות של החלקיקים הנפלטים בכיוון נתון אפשר

מאיץ החלקיקים ואן דה גרף (VdG) של מכון וייצמן, שעוצמתו 3 מיליון וולט, "חגג" לאחרונה את שנת פעילותו הארבעים בסימפוזיון שבו תיאר מדענים את המחקרים השונים שבוצעו בעזרתו במהלך ארבעת העשורים האחרונים. המאיץ התקבל במכון ב-1957, והניסויים הראשונים שבוצעו בו, ופורסמו ב-1958, היו של גבירול גולדרינג ועמיתיו. השנים הראשונות הוקדשו למחקרים בפיסיקה גרעינית וכללו את התצפיות הראשונות (של זאב ואגר ועמיתיו) בתופעות של התפוצצות קולומבית (התפרקות של צבר אטומים טעון כתוצאה מדחייה הדדית של מרכיביו). במשך שנים רבות היה המאיץ מוקד הפעילות המחקרית של קהילת הפיסיקאים הגרעיניים בישראל, עד שזוהרו הועם על-ידי מאיצים חדשים, רבי-עוצמה ממנו.

בעשור האחרון היינו עדים להתעוררות מרשימה בתחום השימוש במאיץ. הפעם לא נעשה השימוש בתחום הפיסיקה הגרעינית, כי אם בחקר של חומרים מעובים ושל מוליכים-למחצה, ובנושאים כמו זיהוי כמויות זעירות של יסודות לצורך גילוי חומרי נפץ ביישומים ביטחוניים, ומאוחר יותר גם בתארוך ארכיאולוגי. התחומים האלה רחוקים מאוד מהמטרות המקוריות שעבורן תוכנן המאיץ, אך העבודה בהם נמצאה פורייה ביותר והניבה לא רק ממצאים חשובים, אלא גם התמחות של סטודנטים רבים בטכניקות של פיזור יונים ביישומים בתחומי הכימיה והחומרים. ואמנם, כפי שהתברר בסימפוזיון האחרון, למעלה ממחצית הפרסומים הקשורים במאיץ, בארבעים שנותיו, יצאו בעשור האחרון, והם מתייחסים לחקר החומרים.

אחד מנושאי המחקר החשובים, שבו עסקה קבוצת המחקר שלי, הוא אנליזה של ריאקציות גרעיניות על פני שטח של פולימרים ועל שטחי בין-פנים שלהם. לביצוע האנליזה מאיצים קרן של חלקיקי ³He טעונים לאנרגיות בסביבות 1 מיליון אלקטרון-וולט, והיא מתנגשת בדוגמית



(a) המערך של אנליזה הריאקציה הגרעינית ששימשה לתיאור מאפייני הרכב-עומק של שרשרות פולימר, מסומנות בדאוטריום בדוגמית של פילם דק (למעלה משמאל). קרן של ³He מגיעה מהמאיץ ומתנגשת בדוגמית בזווית 15°. לאחר הריאקציה הגרעינית השדה המגנטי מאפשר מעבר רק לחלקיקים הדרושים. (b) הגדלה של הדוגמית, המתארת ריאקציה על שטח הפנים שלה ועוד ריאקציה בנקודה עמוקה יותר. הפרש האנרגיות ΔE₄ מראה את העומק שבה מתרחשת הריאקציה.

במחקר אחר נבדקה הפעילות הקטליטית בחיזור יודיד של פילם Pt בלתי-רציף המוטען על אלקטרודה שקופה של תחמוצת הבדיל (ITO). במחקרים שנעשו לאחרונה, תוך שימוש בגישת PIXE, נמדד פיזור של ניקל בשכבות דקות בתוך מולקולות שיכבתיות בפילמים בעובי של 3 עד 8 מיקרון. הכישורים המיוחדים במינם של המאיץ מבטיחים לו המשך פעילות פורייה גם בשנים הבאות, בתחומים השונים בהרבה מאלה שנצפו על-ידי מקימיו.

לרשום פרופיל הרכב-עומק של שרשרות הפולימר המסומנות. בעזרת מידע מסוג זה וניסויים שתוכננו היטב נחקרו בעיות שונות: סגרגציה והרטבה על שטחי פנים של פולימרים, תכונות תרמודינמיות כמו שיווי משקל בין פאזות בתערובות פולימרים, דיפוזיה והעברה (טרנספורט) בתוך פולימרים והשפעות הגודל הסופי על גלים קפילריים בשטחי בין-פנים. שיטה זו, שפותחה לראשונה במכון וייצמן, משמשת עתה קבוצות מחקר רבות ברחבי העולם.



הכינוס השנתי ה-27 של האגודה הישראלית לפולימרים ופלסטיקה

רמון אלבלק - כרמל אולפנינים

הכינוס השנתי ה-27 של האגודה הישראלית לפולימרים ולפלסטיקה התקיים בחנוכה במרכז האירועים והכנסים בכפר המכביה. נושא הכינוס היה "חדשנות ויזמות כמנוף לקידום תעשיות הפלסטיקה והגומי בישראל" והשתתפו בו מעל 250 איש מתעשיית הפלסטיקה, ממוסדות מחקר ומהאקדמיה. הכינוס נפתח בדברי ברכה מפי נשיאת האגודה ד"ר חנה דודיק-קניג, יו"ר הכינוס ד"ר רמון אלבלק ומנכ"ל הקרן הדו-לאומית Bird מר דב הרשברג אשר ספר על תמיכת הקרן בשיתופי פעולה בין גורמים בישראל ובארה"ב.

את מושב הבוקר פתחו שתי הרצאות של מרצים מוזמנים מחו"ל. פרופ' מוסה קמל, מאוניברסיטת מונטריאול, נתן סקירה מקיפה על ההתפתחויות האחרונות בחומרים פלסטיים, ולאחר מכן עבר לדבר על כונוי מחקר עכשוויים בעיבוד פולימרים. הוא בחר לתת דוגמאות בעיקר מתחום ההזרקה והדגיש את החשיבות ביכולת חישובית לחיזוי תכונות ולסימולציה של תהליכים פיזיקליים, כמו התגבשות, המתרחשים בעת עיבוד חומר פלסטי. ההרצאה הבאה במושב הבוקר היתה של ד"ר דוד סימון מ-Univation Technologies אשר סקר את התפתחויות האחרונות בייצור פוליאולפינים. ד"ר סימון דיבר על ריאקציות בפאזה גזית, ושם את הדגש על ההתפתחויות הרבות בתחום הקטליזה המטלוצנית. המרצה הבא היה מר צבי ימיני מנכ"ל צ.א.ג. אשר סיפר את סיפורה של החברה שצמחה בקצב מסחרר מאז היווסדה לפני כ-5 שנים ועד מצבה כיום, שבה היא מהווה את האיום הרציני ביותר על שליטתה של חברת Rubbermaid בתחום פתרונות אחסון עבור הצרכן האמריקאי. הרצאתו המרשימה של מר ימיני לוותה בקטעים מתוך סרט בנושא תחרות, שהופק ע"י רשת הטלוויזיה הממלכתית בארה"ב PBS. מושב הבוקר נסגר עם רב-שיח בהנחיית ד"ר חיים אלקלעי אשר השתתפו בו מר אורי עתיר, מר שוקי אברמוביץ, ד"ר שאול פרייריך ומר צבי ימיני. לפני שלב הדיון, ד"ר ישראל בן-צבי הציג את סיפור התפתחותה של חברת Stepac, שהוא עומד בראשה וזאת כדוגמה לחברת סטרט-אפ אשר מבוססת על חדשנות ויזמות. לאחר הצגת החברה, התבקש כל אחד מחברי הפנל להתייחס לסיפורה של Stepac ולהקיש מהמקרה הפרטי אל הכלל. אחה"צ התקיימו שני מושבים מקבילים שבהם הוצגו סך הכל 12 הרצאות ע"י חוקרים מהתעשייה ומהאקדמיה בארץ. במקביל להרצאות התקיים גם מושב פוסטרים שבו הוצגו 12 עבודות נוספות אשר זכו לעניין רב בין משתתפי הכינוס.

הכינוס האירופי ה-15 לכימיה בשטחי פנים [15 ECIC] 15 European Chemistry at Interfaces

שלמה מגדסי, מכון קזאלי, האוניברסיטה העברית

הכינוס האירופי ה-15 נערך בירושלים, בתאריכים 18-22 באוקטובר. כינוס זה, הנערך אחת לשנתיים במדינה באירופה, עוסק בתחומי מחקר מגוונים בתחום כימיית שטח פנים, התקיים זו הפעם הראשונה בישראל, לאחר קבלת ההצעה שהוגשה לוועדה המתמדת של ארגון ECIC, בראשות פרופ' H. Lyklema.

בכנוס שנערך בראשותו של פרופ' שלמה מגדסי, ממכון קזאלי לכימיה יישומית באוניברסיטה העברית בירושלים, השתתפו מדענים מובילים מהארץ ומאירופה, מהאקדמיה והתעשייה.

הכנוס עסק בנושאים הבאים:

Adsorption at interfaces
Thin films and foams
Surface properties and wetting
Self assembly and organized systems
Monolayers and multilayers
Colloidal systems; microemulsions, micelles, emulsions and nanoparticles
Medical, biotechnological and technological applications

תכנית הכנוס המפורטת מצוייה באתר <http://congress.co.il> בכנוס הציגו את עבודותיהם כ-170 מדענים, מהם כמאה מחו"ל, במסגרת שתי סקציות ותצוגות פוסטרים. 14 הרצאות ניתנו בתחומי המחקר השונים וכן שתי הרצאות מליאה, על ידי פרופ' Brian Vincent מאוניברסיטת בריסטול, בריטניה, בנושא:

"Colloidal microgel particles: Physical properties and applications"

ועל ידי פרופ' ניסים גרתי (האוניברסיטה העברית), בנושא: "Double emulsions- recent developments"

במהלך הכנוס הוצגו עבודות חדשניות ומקוריות רבות, בתחום ההבנה הבסיסית של תהליכים המתרחשים בשטחי פנים שונים, והן בתחום פיתוחים יישומיים חדשים המתבססים על חומרים פעילי שטח ואינטראקציות בשטחי פנים.

הכנוס נערך בחסות משרד המדע, משרד החוץ והאוניברסיטה העברית, וקיבל תמיכה ממספר חברות בישראל העוסקות בפיתוח מוצרים מתחום הכימיה הקולואידית. הכינוס הבא יערך בפינלנד בשנת 2000.

הכינוס השנתי של האיגוד הישראלי לחומרים - אגיל

מחקרי תשתית בחומרים מתקדמים - ד"ר אברהם כהן, משרד המדע.

אורגניים ואנאורגניים, מתכות, חומרים קרמיים, פולימרים, חומרים מרוכבים וכד'. פעילות מו"פ בתחום המדע והטכנולוגיה של חומרים קיימת בארץ בכל המוסדות להשכלה גבוהה ובמכוני מחקר. התעשייה בארץ המתבססת על חומרים ומתפתחת בקצב גדול יותר מכל תעשייה אחרת, תרומתה ליצוא ולהחלפת יבוא משמעותית ביותר, והיא השכילה לנצל תוצאות מו"פ, לדוגמה - במוצרים בטחוניים. עובדה זו מעידה על חשיבות התחום ועל הפוטנציאל הרב הקיים בארץ להתפתחותו, להתבססותו ולתרומתו לתעשייה ולחברה הישראלית.

ועדת ההיגוי לתשתיות מדעיות וטכנולוגיות בתחום החומרים החליטה להתמקד בשטחים הנמצאים בחזית הידע העולמי, העומדים באמות מידה איכותיות, כלכליות ותעשייתיות, אשר ניתן לבצעם בארץ תוך שיתוף פעולה בין-תחומי ובין-מוסדי. השטחים שהועדפו הם בעלי פוטנציאל יישומי בתעשייה הישראלית המתפתחת. הוועדה המליצה על השטחים הבאים: חומרים קרמיים הנדסיים, סגסוגות פולימרים, חומרים פונקציונליים, ננו-חומרים, ציפויים קשים, תהליכי ייצור נבונים, חומרים ותהליכים ירוקים, חומרים ביורפואיים לריפוי ודיאגנוסטיקה.

בכינוס התקיים סימפוזיון מיוחד שבו הוצגו תוצאות המחקר בתחום מחקרי תשתית בחומרים מתקדמים.

תחום מדע והנדסת חומרים זוכה בתקופה האחרונה לפריחה חסרת תקדים ולהכרה בחשיבותו הודות לתפקידו הבולט בהתפתחות כל הטכנולוגיות המתקדמות. מחקר ופיתוח חומרים קיבל עדיפות גבוהה בכל הארצות המפותחות מאחר שנמצא כי הוא הכרחי לקידומה של כל תעשייה, לשיפור מעמדה התחרותי ולשיפור איכות החיים של כל חברה תעשייתית.

תחום החומרים כולל מחקר החל מארכיטקטורה ברמה האטומית והמולקולרית ועד לרמת מבנה החומר ותכונותיו, תהליכי ייצור "נבונים", אפיון חומרים ברמות השונות והשפעת גומלין בין חומרים לבין הסביבה. ניצול יעיל של חומרים הינו בעל תפקיד מפתח בשיפור המצב הקיים ובחידושים בכל שטחי הטכנולוגיה. חומרים "יעילים" לפיתוח טכנולוגיות מאופיינים בתכונות מבנה ו/או תכונות פונקציונליות משופרות או חדישות. ביניהם נכללים גם חומרים קונבנציונליים, אשר רק בעזרת תהליכים "נבונים" ניתן יהיה לנצלם עד תום. חומרים אלו כוללים, לעתים תוך תחרות הדדית, חומרים

להלן רשימת הפרויקטים שהוצגו בסימפוזיון:

| מרכז הפרויקט | נושא | מוסד |
|-------------------|---|-----------------|
| ד"ר ש. קניג | פולימרים נוזליים גבישיים לשיפור תכונות חסימה לגזים ותכונות מכניות של חומרים פלסטיים | מרכז הפלסטיקה |
| ד"ר ש. ולד | שיטה חדשנית לציפויים קשים בטכנולוגית הנעה אלקטרותרמית | ממ"ג שורק |
| פרופ' ר. נעמן | התקנים אלקטרוניים נשלטים על ידי תכונות מולקולריות | מכון ויצמן למדע |
| פרופ' ר. טנא | פאזות ננוסקופיות של מוליכים למחצה | מכון ויצמן למדע |
| פרופ' מ. דריאל | שיטות מתקדמות לייצור צפויים קשים מדורגי הרכב | אוני' בן-גוריון |
| פרופ' ר. קליש | שכבות יהלום ושכבות דמויות יהלום לשימושים טריבולוגיים וחשמליים | הטכניון |
| פרופ' מ. נרקיס | מערכות פולימריות רב-פאזיות מכילות פולימר בעל הולכה חשמלית עצמית | הטכניון |
| פרופ' א. גוטמנס | סינתזה ריאקטיבית in-situ בלחץ של חומרים קרמים מורכבים צפופים בעלי מטריצה לא תחמוצתית | הטכניון |
| ד"ר ר. פישר | סינטור קרמיקה ע"י אינטראקציה בין מוצקים לבין שדה מיקרוגל | הטכניון |
| פרופ' א. לואיס | ננו-כימיה: ייצור חומרים במבנה מולקולרי להתקנים פוטוניים ומחשבים מולקולריים על ידי בקרת הרכב ומבנה סופראמולקולריים | האוני' העברית |
| פרופ' ד. דוידוב | אלקטרולומיניסציה בפילמים דקים של פולימרים מצומדים | האוני' העברית |
| פרופ' א. גדנקן | שיטות חדשות להכנה של חומרים קרמיים בעלי מבנה ננו, סינטור ושימוש בהם בחיבור | אוני' בר אילן |
| פרופ' ש. מרגל | ננו ומיקרו-חלקיקים פולימריים פונקציונליים בעלי התפלגות גדלים צרה, אורגנים-אנאורגנים, מגנטים ובלתי מגנטים: הכנה ושימושים | אוני' בר אילן |
| פרופ' ש. גולדמידט | שיקוע ציפויים קשים מרוכבים, רב-שכבתיים, ומדורגים על ידי קשת ריק מסוננת עבור תעשיית כלי חיתוך | אוני' תל-אביב |
| ד"ר מ. רוט | גבישים אופטיים לא-לינאריים להתמרת תדרי לייזרים | האוני' העברית |
| פרופ' ג. גרדר | חומרי סול-ג'ל קרמיים פונקציונליים | הטכניון |



מכון ויצמן מעניק דוקטור כבוד לשני כימאים מפורסמים

ביניהם היו שני כימאים חתני פרס נובל - פרופ' ז'אן-מארי לן ופרופ' דוד בולטימור.

ב-9 בנובמבר התקיים טקס חגיגי של המושב ה-50 של מועצת המנהלים של מכון ויצמן למדע, ובו חולקו תוארי דוקטור כבוד לפילוסופיה לשבעה אנשים שתרמו רבות למדע, לחברה ולמכון ויצמן.

להלן דברים על הישגיהם של שני מדענים אלה:

פרופ' ז'אן-מארי לן

מאז 1980 מחלק לן את זמנו בין אוניברסיטת שטרסבורג וקולג' דה פרנס בפאריס. תחומי התעניינותו המחקריים משקפים את מטרות ארוכת-הטווח לתכנן וליצור "התקנים מולקולריים", רכיבי מולקולריים המסוגלים לבצע עיבוד אותות ומידע ברמה המולקולרית.

בשלושה עשורים של מחקר מדעי חיבר פרופסור לן קרוב ל-600 פרסומים מדעיים, ועבד בשיתוף עם 270 מדענים מ-20 ארצות. הוא חבר באקדמיות ובמוסדות היוקרתיים ביותר בעולם, וקיבל שורה ארוכה של פרסים ואותות כבוד. מאז 1983 הוא משמש כחבר מועצת המנהלים של מכון ויצמן למדע וכחבר הוועדה המדעית המייעצת של מועצה זו. הוא גם פעיל בכמה פרויקטים מחקריים משותפים עם מדעני המכון.

בשלמותו בניצוחו של רוברט ברנס וודוורד. כן למד קורסים בתחום מכניקת הקוונטים.

לאחר שובו לשטרסבורג, שילב לן את ידיעותיו בכימיה אורגנית, במכניקת הקוונטים ובשיטות פיזיקליות במחקריו בכימיה אורגנית פיזיקלית. מחקרים אלה הובילו ב-1968 לסינתזה של קריפטטים, מולקולות דמויות כלוב שיוצרות תצמידים (קומפלקסים) עם יונים מתכתיים שונים. כך החלה עבודתו בחקר הבסיס הכימי של "ההכרה המולקולרית". הכיוון הזה התרחב במהירות, והתפתח לתחום חדש של מחקרים שקיבל לימים את השם "כימיה סופראמולקולרית", העומדת, למשל, בבסיס יכולתם של קולטנים להתקשר למולקולות בעלות מבנה ייחודי. בזכות הישגיו אלה, היה לן שותף לפרס נובל לכימיה ב-1987.

ז'אן-מארי לן הלך שבי אחרי קסמי הפילוסופיה, אבל בסופו של דבר נתפס למדע. הקריירה המזהירה שלו החלה באוניברסיטת שטרסבורג בצרפת, שבה קיבל את התואר בוגר ב-1960. כבר בשנת לימודיו הראשונה התפעל מאוד מהאופי העקבי וההגיוני של הכימיה האורגנית.

בעבודת הדוקטור שלו באוניברסיטת שטרסבורג התוודע לן לספקטרומטר של תהודה מגנטית גרעינית, כלי פיזיקלי רב עוצמה שהיה עתיד לעצב בצורה משמעותית את המשך עבודתו. לאחר קבלת הדוקטורט עשה שנה אחת באוניברסיטת הרווארד, ושם השתתף במפעל האדיר להרכבת ויטמין B12

פרופ' דוד בולטימור

הנחשב כיום לאחד ממרכזי המחקר החשובים ביותר בעולם בתחום הגנטיקה. ב-1996 נבחר לעמוד בראש הוועדה הלאומית לתיאום המחקר ליצירת תרכיב חיסון למחלת האיידס מטעם המכונים הלאומיים לבריאות בארה"ב. כן שימש כפרופסור באוניברסיטת רוקפלר מ-1990 עד 1994 וכנשיא מוסד זה בשנים 1990-1991. ב-1997 מונה בולטימור לנשיא המכון הטכנולוגי של קליפורניה (CALTECH).

פרופ' בולטימור קיבל שורה ארוכה של אותות כבוד, נבחר לגופים המדעיים האמריקניים היוקרתיים ביותר, ופרסם יותר מ-500 מאמרים מדעיים. מאז 1979 הוא משמש כחבר מועצת המנהלים של מכון ויצמן למדע וכחבר הוועדה המדעית המייעצת של מועצה זו. מעבדתו ב-MIT הייתה מקום השתלמות ראשון במעלה למדעני המכון בתחום מדעי החיים.

נגיפים לבין תאים. עבודה חלוצית זו הוליקה ב-1970 לגילוי שם האנזים רוורס טרנסקריפט, שמאפשר את השכפול של רטרו-נגיפים (ובהם נגיף HIV). לפריצת-הדרך הזאת היו השלכות מעמיקות על הבנת ההתפתחות של גידולים ממאירים, ובהמשך גם על התפתחות מחלת האיידס. ב-1975, בהיותו בן 37, הוענק לבולטימור פרס נובל לפיסיולוגיה ולרפואה.

לצד תרומותיו הנרחבות בתחום הביולוגיה המולקולרית, זכה פרופ' בולטימור למוניטין בשל מספר מרשים של הישגים בהתוויית מדיניות מדעית וציבורית. באמצע שנות השבעים הוא מילא תפקיד חשוב בהשגת קונסנזוס של קובעי המדיניות בארה"ב לגבי המחקרים בדי-אן-אי רקומביננטי. ב-1984 הוא ייסד את מכון WHITEHEAD למחקר ביו-רפואי ב-MIT ומונה למנהל הראשון של מכון זה

דוד בולטימור נמנה עם הביולוגים הדגולים של זמננו, ונחשב לאחד המנהיגים החשובים ביותר במדע המודרני. הוא יליד ניו יורק (1938). הוא גילה התעניינות נלהבת בביולוגיה בעת לימודיו התיכוניים. אחר-כך קיבל תואר בוגר בכימיה בקולג' SWARTHMORE ב-1960, ותואר דוקטור באוניברסיטת רוקפלר, ב-1964. לאחר שלוש שנות מחקר פוסט-דוקטורלי במכון הטכנולוגי של מסצ'וסטס (MIT), בקולג' לרפואה ע"ש אלברט אינשטיין ובמכון סאלק, הצטרף בולטימור לסגל האקדמי של MIT, ונעשה שם, ב-1972, לפרופסור מן המניין.

המחקרים הראשונים של בולטימור ב-MIT התמקדו בתגובות-הגומלין בין



80 שנה לפרופ' ישראל דוסטובסקי

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים ומכון ויצמן למדע ארגנו כנס בין-לאומי במלאות שמונים שנה לפרופ' ישראל דוסטובסקי. הכנס התקיים ב-17 בנובמבר 1998.

הכנס נפתח בהרצאה כללית של פרופ' חיים הררי

הנויטרינו: שליח מסתורי ממעמקי השמש ומבטנם של כוכבים מתפוצצים.

- Prof. Haim Harari**
Opening remarks
- Prof. Amitai Halevi**
University College: The golden years
- Prof. David Samuel**
Heavier and heavier - The story of the isotopes of oxygen
- Prof. Joel R. Gat**
A laboratory chemist discovers the outside world of rocks and water
- Prof. Amnon Yogev**
Solar energy projects at the Weizmann Institute of Science
- Prof. Paul Kesselring**
Promise, progress and problems of solar chemistry
- Prof. Till Kirsten**
The sun, radiochemistry, and the mass of neutrinos
- Prof. John Bahcall**
Solar neutrinos: The theory

לאחריו נשאו ברכות: פרופ' יעקב זיו - נשיא האקדמיה פרופ' חיים הררי - נשיא מכון ויצמן מר גדעון פרנק - יו"ר הועדה לאנרגיה אטומית

ולאחר מכן הרצאה של

Prof. John Bahcall, Princeton University
Solar neutrinos: Messengers from the solar interior

הכנס נמשך למחרת במכון ויצמן, בהרצאותיהם של:

האוניברסיטה העברית ירושלים

מודיעה עיל פתיחת התערוכה:

פרופ' ל. פרקש, 1948-1904

סיפורה של חלוציות מדעית

באולם ברמן, בית הספרים הלאומי והאוניברסיטאי, קמפוס גבעת רם

דפנה מנדלר ושלמה אפרימה

פעמים רבות אנו נתקלים בהבעת סלידה עם הזכרת המילה "כימיה" בקרב הקהל הרחב, ולא מעט פעמים בקרב הדור הצעיר: תלמידי בית הספר היסודי, תלמידי חטיבות הביניים ותלמידי בית הספר התיכון. לכן החלטנו לחדש את מפעל הכימי - ידה במסגרת שנת הכימיה.

חשוב לנו, המחנכים להעביר את המסר, כי הכימיה אינה רק גורם מזהם ומטריד, אלא הכימיה גם חשובה, דומיננטית בעלת השפעה בכל הנוגע להתגברות על מפגעים סביבתיים, ויש לה גם תרומה כלכלית אדירה. הכימיה היא למעשה מדע בין-תחומי, שמתבססים עליו תהליכים רבים ומרכזיים בחיי האדם, בתחומים של החי, הצומח והדומם ולמעשה, אי אפשר בלעדיו בכל אחד מתחומי החיים. כך למשל לכימיה תפקיד חשוב בייצור שבבי מחשב, בתעשיית התרופות, בתעשיית המזון, בחקלאות, בתעשיית הפולימרים ובתעשיית החלל, בתחום המרת אנרגיית שמש לאנרגיה כימית וחשמל בתחום הפעילות הגנטית וחקר המוח - ואלה רק מקצת התחומים

שבהם שותפה הכימיה. כימיה הוא מקצוע, ששייך לתחום מדעי ה-high tech - מדע מתקדם ביותר העוסק בנושאים המרכזיים בחיי היום יום. כדי להדגיש את ההיבט החיובי של הכימיה ואת חשיבות מקצוע הכימיה גם בקרב תלמידי בית ספר התיכון, אנו מחדשים את מסורת הכימי-ידה, בתמיכה של החברה הישראלית לכימיה, משרד החינוך התרבות והאוניברסיטאות בארץ. הכימי - ידה היא תחרות ארצית בכימיה המיועדת לתלמידי החטיבה העליונה, כתות י' ו"א ו"ב. נושא התחרות השנה הוא "כימיה בחיי היום יום".

תחרות הכימי - ידה תתבצע בשלושה שלבים:

שלב א': שלב בית ספרי

1. הרשמה מוקדמת לפי רצון התלמידים להשתתף.
2. ביום המוסכם תהיה בחינה ממוינת בכל בית ספר שהביע את רצונו להשתתף. המורים לכימיה הם שימינו את התלמידים, וישלחו לא יותר מחמישה תלמידים המדורגים

צוות הכימי-ידה:

דפנה מנדלר - ביה"ס למדעים ואומניות, ירושלים, והמרכז להוראת המדעים באוניברסיטה העברית שלמה אפרימה - המחלקה לכימיה, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב ורה מנדלר שלמה (סול) עצינוי יהושע סיוון - תיכון ע"ש בגין, צפת עבד עזב - תיכון ערעה, המפקח על למודי הכימיה במגזר הערבי, ובכיר בחברה לשרותי איכות הסביבה ניצה ברנע - תיכון ליאו בק, חיפה, והפקוח על הוראת הכימיה במשרד החנוך יואל ששון - מכון קזאלי לכימיה ישומית, האוניברסיטה העברית, וסמנכ"ל למו"פ "מכתשים" לילה זעירי - המחלקה לכימיה

לפי הישגיהם. יחד עם שמות התלמידים, יצרפו המורים את השאלון, וכל שאלון נוסף או כלי הערכה אחר, שבאמצעותו קבע המורה את דירוג התלמיד.

שלב ב': השלב הארצי

העוברים את שלב א' יגיעו לשלב הארצי. הם יוזמנו ליום מרוכז באחת האוניברסיטאות להרצאות וסיורים. בסופו של אותו יום ייערך מבחן ממיין בכתב, שמתוכו ייבחרו 12 תלמידים, שיעלו לשלב הגמר.

שלב ג': שלב הגמר

שלב הגמר יתקיים באוניברסיטת בן גוריון בבאר שבע שבנגב. שלב זה יורכב משני חלקים:

1. חלק סגור, שבו תיערך בחינה ממוינת נוספת, אשר תתמקד בכימיה של תמיסות מימיות: מסיסות, תגובות שיקוע, חומצות ובסיסים, חמצון וחיזור (היבט כמותי)
2. חלק פתוח, שאליו יוזמנו משפחות, מורים וחברים של המשתתפים, והזוכים בתחרות יזכו בפרסים.

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב ענבל טובי - אוניברסיטת בן-גוריון בנגב בשלב הראשון של הכימי-ידה נשלחו הודעות לבתי ספר ברחבי הארץ, לפי רשימה של משרד החנוך ובעזרתו, וכן הופצו פוסטרים אודות הכימי-ידה. בתי הספר המעוניינים התבקשו להרשם לתחרות. הנושא השנה: "כימיה בחיי יומיום".

ב 12.11.98 נערך שלב המוקדמות בבתי הספר. כ 150 בתי ספר, שהביעו עניין ונרשמו רשום מוקדם, קבלו בדואר שאלון של 20 שאלות (בסגנון "אמריקאי"). לאור התוצאות של מבחן זה ובשלב עם קריטריונים נוספים - לפי ראות בתי הספר - נשלחו לוועדה שמות של עד חמישה מועמדים לשלב הארצי מכל בית ספר. קבלנו כ 140 רשימות כאלה, כאשר רובן הכיל חמישה מועמדים, לפי



התחרות נערכת השנה לרגל שנת הכימיה הבינלאומית, בארגון החברה הישראלית לכימיה, בחסות המוסדות להשכלה גבוהה* והתעשייה הכימית בארץ**, ובסיוע משרד החנוך, התרבות והספורט ובמיוחד הפקוח על הוראת הכימיה.

דרוג יורד. הודענו לבתי הספר על קבלת שני מתחרים מכל בית ספר, שיתחרו בשלב הארצי. ברשום נוסף, בו נרשמו כ 105 בתי ספר, הופיעו שני נציגים מכל מוסד. כחדש וחצי לאחר השלב הראשוני, ב 24.12.98, התקיים השלב הארצי של התחרות באוניברסיטה העברית בירושלים. נכחו כ 190 מתחרים, אליהם הצטרפו כ 70 מורים מלוויים. התחרות עצמה (שערכה כ 90 דקות) כללה שאלון "אמריקאי", של 30 שאלות. תשובה נכונה זיכתה ב 2 נקודות ואילו תשובה שגויה "נקנסה" ב 1 נקודה. השאלונים תורגמו לערבית, לסייע לתלמידים מעוניינים.

לאחר הבחינה הוגש כיבוד קל, ולאחר הפסקה זו התקיימו שתי הרצאות למתחרים ולמלוויהם. הרצאה על "תרופות ורפואה" ניתנה על ידי פרופ' ברנהולץ מבית הספר לרפואה ומרכז רפואי "הדסה", עין כרם, והרצאה על "הכימיה בשרות המלחמה בפשע" ניתנה על ידי תנ"צ פרופ' יוסי אלמוג, ראש המחלקה לזיהוי פלילי (מז"פ) במשטרת ישראל. מבין המתחרים בשלב הארצי נבחרו 13 הראשונים והם יעפילו לשלב הגמר שיתקיים ב 24.3.99. שלב זה יהיה (בחלקו) פומבי. משתתפי השלב הארצי, שלא עלו לגמר יקבלו תעודות, וכך גם משתתפי שלב המוקדמות, שהומלצו על ידי בית ספרם לשלב הארצי.

**כימי-ידיה תשנ"ט
רשימת העולים לשלב הגמר:**

| שם המתחרה | כיתה | בית-הספר |
|----------------|------|--------------------------------|
| בארי מתן | יב | מקיף העמק המערבי, יפעת |
| גב נעמה | יב | חמד"ע/תיכון עירוני ט', ת"א |
| גיל רועי | יב | בן-צבי, קרית-אונ |
| דולניקוב שמעון | יב | הריאלי, חיפה |
| חיטרון איל | יב | תיכון ליאובק, חיפה |
| מובצ'ן יבגניי | יב | תיכון עירוני י"ד, נוה דן, ת"א |
| מוריניק אלון | יב | אורט, ערד |
| מטלון בועז | יב | תיכון ליאובק, חיפה |
| מרקמן שלמה | יא | בי"ס תיכון למדעים על"ה, הרצליה |
| עוזיאלי טל | יב | תיכון ליד האוניברסיטה, ירושלים |
| פהימפור אורן | יב | חמד"ע/תיכון עירוני ט', ת"א |
| קרמר טל | יב | תיכון הראל, מבשרת ציון |
| שלומקוביץ איתי | יב | אמ"ת גוש דן, גבעת שמואל |

* המחלקה לכימיה אוניברסיטת בן-גוריון, המחלקה לכימיה אוניברסיטת בר-אילן, ביה"ס לכימיה אוניברסיטת תל-אביב, המכון לכימיה האוניברסיטה העברית, הפקולטה לכימיה הטכניון והפקולטה לכימיה מכון ויצמן למדע.
** "כימיקלים לישראל" על 13 חברות הבנות, "טבע", "מכתשים-אגן תעשיות", וכן המועצה המקומית תעשיתית רמת חובב.

אשגר טק בע"מ
טל. 03-5346786 פקס. 03-5352689
רח' בילינסון 14, קרית אונו 55297

PROCESSING EQUIPMENT

LIST *SWITZERLAND*

Mechanical and thermal processes with pasty, sticky, highly viscous, crust forming and granular materials.
www.listgrp.com

APTM SA. *SWITZERLAND*

Superjet micronizing mills
עיבוד וטחינת אבקות עד 0.3 מיקרון

ROSEDALE *U.S.A.*
FILTRATION PRODUCTS

Bag filters and basket strainers.
www.rosedale-products.com

DrM Dr. Müller AG *SWITZERLAND*
FUNDABAC® -

Filtration down to 0.1 micron, cake washing, wet or dry discharge (above 50% dry), for slurry with high load of solids.
CONTIBAC® - Continuous thickener.
www.drm.ch

VETTER *GERMANY*
Maschinenfabrik GmbH

Dewatering screw presses, steam heated tube bundles dryers.

PIPING EQUIPMENT

PLIDCO® *U.S.A.*

אביזרי צנרת לדלקים, גז, קיטור וכימיקלים, ללא ריתוך לאוירה מוגנת פיצוץ.
www.plidco.com



U.S.A.
Hot tapping and line stopping
www.hottaps.com



האיש שלא חדל לשאול

פרופסור שלמה אלכסנדר מהמחלקה לפיזיקה כימית במכון ויצמן, נספה באחרונה בתאונת דרכים. הוא היה פרופסור ומרצה בקולג' דה פרנס, חבר האקדמיה האירופית למדעים, חבר האקדמיה הישראלית למדעים וחתן פרס ישראל בפיזיקה לשנת 1993. עם מותו של שלמה אלכסנדר אבד לישראל ולקהילת המדע העולמית אחד מבכירי הפיזיקאים בדורנו. הוא התפרסם בעיקר כתאורטיקאי בתחום הפיזיקה של החומר המעובה. ואולם למעשה, התחיל את הקריירה המדעית שלו כניסוינאי, ושמר על קשר הדוק עם עמיתיו הניסוינאים בכל תקופת עבודתו. במסגרת עבודת הדוקטורט שלו במכון ויצמן למדע, בנה יחד עם מנחהו, פרופ' שאול מייבום, ספקטרומטר לתהודה מגנטית גרעינית (NMR) שהיה בזמנו מהמשוכללים בעולם (שיטה זו מהווה את הבסיס לשיטת הדימות המתקדמת MRI). הישג זה היה פריצת דרך טכנולוגית בקנה מידה בין-לאומי, בייחוד בישראל של אמצע שנות החמישים חסרת התשתית הטכנולוגית, שהייתה טרודה בקליטת גלי עלייה ובפתרון בעיות כלכליות ובטחוניות עצומות. באמצעות ספקטרומטר זה חקר את מבנה ספקטרום ה-NMR של נוזלים, ופיתח שיטות לחקר קצב ראקציות כימיות.

את השתלמותו הבתר-דוקטוריאלי עשה במעבדות "בל" בארה"ב, שם עבד עם חתן פרס נובל פיל אנדרסון על תכונות מגנטיות של מתכות, וכן עשה עבודה ניסיונית בתחום מוליכי העל.

בתחילת שנות השישים חזר למכון והקים מעבדה ניסיונית בתחום התהודה הקוודרופולית-גרעינית. בשיטה זו חקר, יחד עם תלמידיו, תכונות דינמיות של מוצקים, וכן מעברי פאזה בין צורות גבישיות שונות. לאחר מותו של פרופ' יואל רקח עבר לאוניברסיטה העברית, ושם נתן תנופה לפעילות עיונית בחקר החומר המעובה. הוא המשיך לעסוק בשטח זה גם לאחר שחזר למכון בשנת

1989 וגם לאחר פרישתו בשנת 1995. הוא עסק כמעט בכל נושא אפשרי בחקר החומר המעובה: מתכות, חצאי מוליכים ומוליכי על. הוא עסק בסיווגם של הקוואזי-גבישים ובניבוי מבנים אפשריים של חומרים אלה. ואולם הוא התרכז בעיקר בחקר חומרים לא מסודרים כמו פולימרים, גבישים נוזליים, זכוכיות ועוד. למטרה זו פיתח שיטות המבוססות על מתמטיקה של פרקטלים. באחרונה הצליח לנסח תורות כלליות של חומרים לא מסודרים המסבירות את תכונותיהם הפיזיקליות הבסיסיות. את העבודה הזאת הספיק לסכם בכרך שלם של כתב העת היוקרתי 'Physics Report'.

שלמה עסק בנושאים רבים ומגוונים, ובכולם הטביע את חותמו, חידש והניח יסודות לתחומי מחקר חדשים. משרדו וביתו היו מקום עלייה לרגל לתלמידים וחוקרים שבאו לשאול בעצתו, לשאוב מידיעותיו ולשתף אתו פעולה. הוא ניחן באינטואיציה בלתי רגילה וביכולת עבודה שקשה היה להדביק. שלמה נותר צעיר ברוחו, סקרן, שואל שאלות וחסר יראה מדעת הקהילה המדעית והרחבה. האומץ האינטלקטואלי שלו וחירות מחשבתו הם דוגמה ומופת.

על אף מעמדו הבכיר, לא נפל בפח של חשיבות עצמית או חשש לכבודו. מעולם לא התנשא והתייחס לצעיר הסטודנטים באותה מידה של רצינות ואהדה שבה התייחס אל חוקרים בכירים.

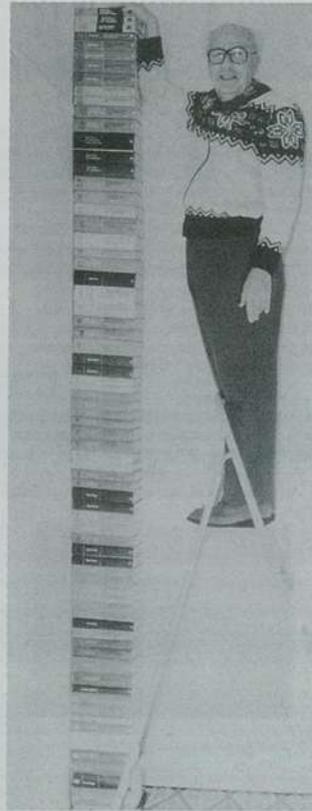
שלמה היה חבר מסור ואיש משפחה למופת. הוא יחסר למשפחתו, לידידיו הרבים בארץ ובעולם ולקהילת המדע בעולם.

**פרופ' זאב לוז
מכון ויצמן**

שאול פטאי, שהלך לעולמו באוגוסט 1998, נולד ב-1918 בבודפשט, הונגריה, בבית ציוני בו דברו עברית כהכנה לעליה לארץ ישראל. הבית שמש מרכז לאינטלקטואלים יהודים והמשפחה כולה עסקה בפעילות אמנותית וספרותית. אמו ואחותו כתבו שירה וציירו, אחיו רפאל שקבל את תואר הדוקטור הראשון של האוניברסיטה העברית על הר הצופים ב-1937 היה אנתרופולוג, חוקר ועורך. האב, יוסף פטאי, היה יו"ר ארגון ציוני הונגריה ועורך של העתון הציוני הספרותי "עבר ועתיד", הרבה בנסיעות לארץ הקודש, ושאלו הצעיר רכש בגיל 16 את נסיון העריכה הראשון שלו כאשר מלא את מקום אביו בעתון כמתרגם, עורך ומגיה.

בשנים 1936-38 למד שאול כימיה ופיסיקה באוניברסיטה בבודפשט ועם עלותו ארצה ב-1938, לאחר שמשפחתו כבר עלתה, המשיך בלימודיו בשנה השניה בפקולטה למדעי הטבע של האוניברסיטה העברית. הוא עשה את עבודת המוסמך שלו בכימיה פיסיקלית בהדרכת פרופ' ל. פרקש, קבל את התואר "מוסמך למדעים" ב-1941, המשיך לעבוד במחיצת פרופ' פרקש במחקר תעשייתי, ובזמן מלחמת העולם השניה עבד שנה בבית חרושת הקשור לתעשייה צבאית. ב-1943 החל בעבודת הדוקטור שלו בהדרכת ד"ר משה וייצמן וסיים ב-1947. ב-1948 קבל את תואר ה"דוקטור" בטקס האחרון שנערך בהר הצופים לפני פינויו.

מראשית עלייתו ועד לאחר מלחמת השחרור היה שאול חבר ההגנה, ובעת שרותו הפעיל עסק בריכוז פרויקטים בחיל המדע. במשך 40 השנה האחרונות היה שאול



איש סגל באוניברסיטה העברית (מרצה, 1950; מרצה בכיר, 1953; פרופסור-חבר, 1957; פרופסור-מן-המנין, 1970). בשנים 1954-56 היה חבר מחקר ב-University College, London, שם עבד במחיצתו של פרופ' אינגולד, אותו העריץ ושם קבל את התמריץ לחקר מנגנוני ריאקציה. הוא היה פרופסור אורח במספר מוסדות, ביניהם האוניברסיטה של אוקלנד בניו זילנד, אורח ה-JSPS ביפן, וגם היה חוקר-אורח במעבדות מונסנטו בציריך. באוניברסיטה העברית, בנוסף לעבודתו בהוראה ובמחקר, כיהן שאול במספר תפקידים אדמיניסטרטיביים. הוא היה יו"ר מרכז בובר לחינוך מבוגרים, והיו"ר הראשון של המכון לכימיה.

שאול פטאי היה מבין הראשונים בארץ שחקרו מנגנוני ריאקציות אורגניות, במיוחד דחיסה קרבניל-מתילנית, וכן עסק במחקר פירוליזה של סוכרים וריאקציות במצב המוצק. במסגרת זו הוא הודרך למעלה מ-50 תלמידים לתואר מוסמך, ויותר מ-20 תלמידים לתואר דוקטור. יחד עם תלמידיו הוא פרסם כ-130 מאמרים, ותלמידיו ותלמידי-תלמידיו נמנים על סגל ההוראה והמחקר בכל המוסדות האקדמיים בארץ. הוא גם פרסם שני ספרי לימוד בכימיה אורגנית בשפה העברית, Glossary של מושגים בכימיה אורגנית, והשתתף בעריכתם של שני ספרי נתונים של ה-Chemical Rubber Company.

שאול ראה חשיבות מרכזית ביכולתו לתרום מכישוריו הארגוניים והמדעיים לנושאים ציבוריים. לאחר מלחמת יום הכיפורים הוא הקדיש את רוב זמנו לארגון קבוצת מדענים מתנדבים שסייעו לפיתוח אמצעי הדרכה ועזרי אמון בצה"ל

ורכז קבוצה זו בירושלים. היה ראש המרכז לציוד ושיטות, והשתתף בהקמת "תלפיות" - ביה"ס של חיל האוויר במסגרת האוניברסיטה העברית. על פעילותו זו זכה מנשיא המדינה ב"פרס הנשיא למתנדב". גולת הכותרת של פעילותו המדעית של שאול פטאי, בה זכה שמו לפירסום והכרה בעולם המדעי, הייתה ביסוד ועריכה של סדרת הספרים "הכימיה של קבוצות פונקציונליות". סדרה זו היא מפעל חיים שמעטים שוים לו בהיקפה ובתכנה בכימיה האורגנית. החל משנת 1964 עת יצא הספר הראשון בסדרה ועד היום, התפרסמו בסדרה זו 98 כרכים ראשיים ו-8 כרכים נלווים. כ-1500 מחברים מעשרות ארצות תרמו כ-1300 מאמרי סקירה נרחבים המכסים חלק נכבד של הכימיה האורגנית, ב-83000 עמודים. רבים ממחברים אלה הינם חוקרים ומורים בכל המוסדות האקדמיים בארץ. בחירת הנושאים, בחירת המחברים, עריכת הפרקים והבאתם לדפוס נעשתה ע"י עורכי הסידרה, ושאלו שניחן ביד קלה בעריכה, ערך לבדו כמחציתם של כרכים אלה והיה שותף בעריכתם של 20 כרכים נוספים יחד עם עורכים אחרים. שבחים רבים הורעפו על סדרה זו ואפשר למצאה בספריות החשובות ברחבי תבל. תמונתו של שאול על סולם לצד חלק מן הסדרה מוכרת לרבים. על פעילותו זו זכה שאול פטאי בפרס בובליק של האוניברסיטה העברית בשנת תשנ"ה. שאול היה אדם מאורגן. הוא שמר על סדר יום קפדני מחד, אולם מאידך היתה דלתו פתוחה לסטודנטים ולעמיתים, ובמיוחד לא חסך מזמנו בעזרה לצעירים. הוא התעניין וסייע לסטודנטים ולחברי סגל צעירים גם כאשר לא היו תלמידיו במישרין, עקב אחר התפתחותם וחש סיפוק עמוק עם התקדמותם. שאול ניחן בסקרנות, בידע רב ובחכמת חיים. קל היה לעניין אותו בנושאים רבים, מדעיים ואחרים, והוא ברצון תרם מחכמת החיים השקולה שלו, ומנסיונו הרב לתלמידיו ולסובבים אותו. הוא יחסר לנו מאד.

פרופ' צבי רפפורט
האוניברסיטה העברית

identification of trace amounts of elements, for explosives detection in security applications, and for archaeological dating. Another major area of research has involved nuclear reaction analysis (NRA) studies of polymer surfaces and interfaces. These include surface segregation and wetting, thermodynamic properties such as phase equilibrium in polymer mixtures, diffusion and transport in bulk polymers, and finite size effects on capillary waves at interfaces.

3. *The 27th Annual Meeting of the Israeli Polymer and Plastics Society*

was held in Ramat Gan on December 16 1998, with the participation of 250 members of the Society from the Academic Institutions and Industry. The general theme of the meeting was "Innovation and initiative as a means of expanding the plastics and rubber industry in Israel". The Chairman of the Meeting was Dr. Ramon Albalak. The Plenary lectures were given by Prof. Musa Kamal from McGill University, Montreal, Canada, on "Future directions in polymer processing research", Mr. David Simon, from Univation Technologies, CT, USA, on "Review of significant developments for polyolefin production in the last decade - Gas phase and Metallocenes", and Mr. Zvi Yemini on "The story of ZAG". 12 lectures, as well as 12 posters, were presented in the afternoon session.

4. *2nd Meeting of the Israel Materials Union (AGIL).*

During the AGIL meeting, held on November 25 1998 in Ramat Gan, a special session was devoted for a summary of three years of research, on the following projects which were funded by the Ministry of Science, in the framework of: "Infrastructure Research on Advanced Materials".

Liquid Crystal Polymers for Improvement of Barrier and Mechanical Properties of Plastics.

Multi-Phase Polymer Systems Containing Intrinsically - Conducting Polymers.

Electroluminescence in Conjugated Polymer Thin Films.

Uniform, Functional, Organic- Inorganic, Magnetic & Non-Magnetic Nano- & Micro-Particles.

Functional Sol-Gel Ceramic Materials.

Nonlinear Optical Crystals for Laser Frequency Conversion.

Molecular-Controlled Semiconductor Resistor (MOCSE) Devices.

Nanochemistry.

Nanoscope Phases of Semiconductors.

A New Thermal Spray Method using an Electro-Thermal Chemical Gun Technology.

Advanced Methods for the Synthesis of Compositionally-Graded Hard Coatings.

Diamond and Diamond-like Carbon (DLC) Coatings for Tribological and Electronic application.

Pressure Assisted Reactive Processing of Dense In Situ Non-Oxide Ceramic Matrix Composites.

Sintering of Ceramics Based on Solid Material - Microwave Field Interaction.

A New Method for the Preparation of Ceramic Materials: their Sintering and Use in Bonding.

Vacuum Arc Deposition of Multi-Layer, Component, Graded Hard Coatings for the Tool Industry.

News from the Universities.

The Weizmann Institute awarded honorary doctorates to two famous chemists:

Prof. Jean-Marie Lehn, in recognition of his fundamental contribution to the chemical basis of molecular recognition, leading to the definition of the new field of science known as supramolecular chemistry.

Prof. David Baltimore, in recognition of his pioneering role in the study of the biology of viruses and his invaluable contributions to the field of molecular biology.

The National Academy of Science and the Weizmann Institute celebrated

Prof. Israel Dostrovsky's 80th birthday with a symposium highlighting his scientific career.

Among the invited speakers were Prof. John Bahcall, from Princeton, who spoke on Solar Neutrinos, and Prof. Paul Kesslerling, from PSI, who spoke on Solar Chemistry.

Chemistry year - plans and happenings

Arnon Shani, Daphna Mandler and Shlomo Ephrima.

The International Chemistry Year is being celebrated the world over and in Israel. The general purpose is to educate the general public and make them aware of the central meaning of chemistry in all aspects of our existence on this planet. For that purpose various activities are taking place. Public lectures are delivered by chemists from the academy and from industry, chemistry exhibits are presented in various happenings, and articles in daily newspapers, such as a special issue in Haaretz, under the heading "Molecule". In the school system a Chemistry Olympiad is being held in three stages. 13 finalists were chosen, from different high schools, and the final competition will be held on the 24/3/99.

Obituaries:

Prof. Shlomo Alexander, from the Chemical Physics Department, Weizmann Institute, was killed in a car accident on August 1998. Prof. Alexander had major basic contributions in the areas of NMR and condensed matter physics. He was a member of the Israel Academy of Science and the European Academy of Science, and the recipient of the Israel Prize in physics for 1993. (by Zeev Luz).

Prof. Shaul Patai, from the Organic Chemistry Department, the Hebrew University, passed away in August 1998, at the age of 80. He was known for his work on mechanistic studies in organic reactions. Prof. Patai's life-time accomplishment was the editing of a series of books on "The Chemistry of Functional Groups". He started it in 1964, and continued until his last days, publishing 108 volumes, with the participation of more than 1500 authors. (by Zvi Rappoport).

the development of science and technology in the country. Joshua Jortner received the Israel Prize and the Wolf Prize, for his outstanding work. He is a member of the Israel Academy of Sciences and Humanities, as well as a member of 13 other Academies around the world. During 1986-95 he served as the President of the Israel Academy of Sciences and Humanities, and acted as scientific adviser of three Prime Ministers. As of 1998, he is serving as President of IUPAC - the International Union of Pure and Applied Chemistry, consisting of 60 member countries.

Zvi Zur - A pioneer of the chemical industry in the country.

Zvi Zur started manufacturing chemicals when he was still a student at the Hebrew University in Jerusalem. It was part of the war effort, during World War II. He started, together with some fellow students, in a small room in Jerusalem, and it developed into a plant that was named "Agan" in the village of Motza. In 1947 they worked for the Hagana, and then the whole operation was moved to the Tel-Aviv area and mobilized for the war effort, during the War of Independence. After the war, Zur founded the first chemical plant in the Negev - Machtshim. It started by producing mainly agriculture related chemicals, such as pesticides and herbicides, and developed into the largest chemical plant in the country. From the beginning Zur establish the motto "invest in Research and Development and direct your products for export". Machtshim became later part of the Koor conglomerate and Zur became the Head of Koor Chemicals.

Even today, at the age of 80, Zvi Zur - Doctor of Philosophy Honoris Causa, from the Ben-Gurion University in the Negev - is very active in various functions. He is consultant to a number of companies, he is on the Board of Directors of Ben-Gurion University, and is the adviser of students on industrially related research projects.

Chemistry in the Universities and in Industry:

The Magnesium Plant in Sdom, by Dr. Tuvia Zisner.

The Dead Sea contains more than 10 billion tons of magnesium chloride, but only 1 billion ton of potassium chloride. Yet potash (KCl), a fertilizer, has been produced from the Dead Sea since 1930, through Carnallite ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), which crystallizes out when the brine is concentrated by solar energy. Some of this raw material is now pumped over to the new magnesium metal plant, where it is beneficiated, centrifuged, dehydrated, melted and further purified by carbo-chlorination. It is then electrolyzed at 700° C, and the metal floating on the molten electrolyte is collected and refined. Some of it is alloyed with aluminium, zinc, manganese etc., and all is cast into ingots. The whole operation is under computer control, and some innovative ideas were utilized to minimize manual labor. Commissioning of the plant was begun in December 1996; its rated production capacity of 25,000 tpy has been achieved in 1998, and expansion by debottlenecking is under way.

"Production" of Chemists and Employment - Supply and Demand. by Prof. Arnon Shani.

A survey of 150 chemistry related companies, conducted in 1998, showed that the number of chemists employed in those companies is over 1000. 70% of them have an M.Sc. or a Ph.D. degree. The projected growth rate, for the next few years, is 30-50 positions per year, and the job mobility averages 5-10% annually. High schools employ about 1000 chemistry teachers, with a job mobility of 5-6%

a year. Academic institutions employ about 300 chemists, as senior staff, and have 650-700 graduate students. The universities graduate 200-250 students per year, at all levels, while the total demand amounts to 150-200 per year. This "over-production" of chemists is not felt in the job market, mainly due to the fact that some chemists shift to other areas (e.g. computers), and some do not work in the field due to family and other considerations. Lately, a shortage of chemists is being felt, mainly in the areas of analytical and synthetic chemistry. This shortage may become more acute, if the present trend towards lower registration rates in the universities continues.

Coming Events:

The 64th Annual Meeting of the Israel Chemical Society

will take place on the 16 and 17 of March, 1999 in the Bar-Ilan University in Ramat Gan.

The Chairman of the meeting is Prof. Doron Orbach from Bar-Ilan University.

The Plenary lectures will be given by:

Prof. Pier Luigi Luisi, E.T.H. Switzerland, on Macromolecular chemistry, implementing self-replication structures.

Prof. Donald Hilvert, E.T.H. Switzerland, on Biocatalysis with enzymes, modified enzymes and catalytic antibodies.

Prof. Aharon Gedanken, Bar-Ilan University, on Advanced material science: the use of ultrasound for the preparation of amorphous nanoparticles.

Prof. Eliezer Giladi, Tel-Aviv University, on Electrochemistry in the 21st century.

For more details contact Dan Knassim - tel. 03-6133340; email - congress@mail.linter.net.il.

The annual business meeting, and the report by the President of the Society will take place on the first day of the meeting Meeting

News and reports about meetings held in Israel:

1. The 15th European Chemistry at Interfaces Conference

was held in Jerusalem on October 18-22, 1998. The Conference was chaired by Prof. Shlomo Magdassi, and was attended by 170 scientists. The main topics were: adsorption at interfaces; thin films and foams; surface properties and organized systems; monolayers and multilayers; colloidal systems: microemulsions, emulsions and nanoparticles; Medical and biotechnological applications.

The plenary lectures were given by Prof. B. Vincent, from Bristol University, on "Coloidal microgel particles: Physical properties and applications", and Prof. N. Garti, from the Hebrew University in Jerusalem, on "Double emulsions - recent developments".

The next ECIC will be held in Finland in the year 2000.

2. 40 years to the van-de-Graaff accelerator at the Weizmann Institute: "From nuclear physics to condensed matter research" A symposium held on October 19, 1998. By Prof. Jacob Klein.

The 3MV (3 million volts) van de Graaff particle accelerator at the Weizmann Institute recently 'celebrated' its 40th year of activity with a symposium in which scientists described the different studies carried out at the accelerator over these decades. The early years were devoted to research in nuclear physics, including the earliest observations of coulomb explosion phenomena. The last decade has witnessed a major upsurge in the use of the accelerator mainly in areas such as condensed matter and semi-conductors research; the

Invited Scientific Contributions:

Inorganic Fullerenes, Reshef Tenne, Weizmann Institute, Rehovot.

A few years ago we showed that nanoparticles of inorganic layered compounds, like MoS_2 , are unstable in the generic planar crystalline form, and they fold into hollow closed (cage) structures akin to carbon fullerenes and nanotubes. These nanocrystallites were termed "Inorganic Fullerene-like structures -IF". This concept has been verified by a number of groups. Various methodologies for the synthesis of macroscopic amounts of pure phases of WS_2 and MoS_2 nanocrystallites with IF structures have been devised. Furthermore, in a recent work, the basic unit block of IF - MoS_2 with an octahedral structure containing 572 Mo atoms, which can be viewed as the MoS_2 analog of C_{60} , has been elucidated. The electronic and optical properties of IF materials were found to be unique. A number of practical applications, such as solid lubrication, are under study.

Recently, we have synthesized fullerene-like structures and nanotubes from the magnetic layered compound NiCl_2 . These nanocrystallites are expected to exhibit novel magnetic properties, and therefore can be used as molecular magnets for high density information storage and retrieval.

Protease Inhibitors from the Plant Kingdom - "Friends" or "Foes"?

Yehudith Birk, Faculty of Agriculture, Hebrew University, Rehovot. (Israel Prize winner 1998).

Protein protease inhibitors are widely distributed in the plant kingdom. Their common source is the seed. Most of them inhibit serine-proteases - mainly trypsin and also chymotrypsin. The potency of inhibition depends on the animal species or the target protease. Their presence in valuable plant foods focused attention on their possible involvement in nutritional processes. Of these the Kunitz trypsin -inhibitor (STI) and the Bowman-Birk trypsin- and chymotrypsin-inhibitor (BBI) from soybean have been thoroughly studied. Feeding experiments on diets supplemented with STI and BBI isolated from soybeans, caused insignificant growth depression in rats, mice and chicks, but have induced enlargement of their pancreas via trypsin-inhibitory sites. However, pancreatic enlargement was not noted in similar experiments with dogs, pigs, calves and monkeys. The findings that stored-products insects, such as Tribolium, fail to develop on raw soybeans and that BBI inhibits insect midgut proteases, support the hypothesis that protease inhibitors comprise a built-in defense of the seed against insects. The involvement of BBI in prevention of inhibition of malignant processes in vitro and in vivo and its possible role in plant protection, triggered the cloning and expression of BBI in *E. coli* in the yeast *Pichia pastoris* - as dietary supplement and as a basis for its introduction into valuable crops by genetic engineering. Thus, the alleged anti-nutritional properties of plant protease-inhibitors should be weighed against their potential value in plant protection and as anticarcinogens.

The chemistry of the Copaxone drug - Ruth Arnon and Michael Sela (Wolf Prize winners 1998), Weizmann Institute, Rehovot. (in English)

Copaxone is the commercial name of an FDA approved drug for the treatment of multiple sclerosis (MS). It consists of a synthetic polymer of amino acids, denoted Copolymer 1 (Cop 1), composed of L-alanine, L-lysine, L-glutamic acid and L-tyrosine. The results of clinical trials with Cop 1 indicate that it is a promising low-risk MS-specific drug for the treatment of relapsing MS, capable of slowing progression of disability and reducing the relapse rate. As an antigen-specific intervention, Cop 1 has the advantage of reduced probability of long-term damage to the immune system. It is of interest that Copaxone is the first drug of a polymeric nature approved for treatment of a disease. This is a macromolecular preparation obtained by polymeric techniques, in which probably no two molecules are completely identical. The microheterogeneity of Cop 1 can actually be part of its success, as it may contain sufficient different amino acid sequences that could successfully compete with the encephalitogenic antigens for class II MHC antigens of many different genetic backgrounds. This, as well as its high safety profile, make Copaxone a first choice drug that will hopefully alleviate the suffering of many MS patients.

Prominent Figures in the Israel Chemical Society:

Joshua Jortner, Tel Aviv University - Currently President of IUPAC, and Past President of the Israel Academy of Sciences and Humanities.

Professor Joshua Jortner received his Ph.D. from the Hebrew University in Jerusalem in 1960. He joined the Faculty of Tel Aviv University in 1964, where from the establishment of the School of Chemistry, he put a lot of emphasis on a high quality scientific research, and on an interdisciplinary approach to the Chemical Sciences. In his Chemical Physics group, he integrated theoretical and experimental research, both intrinsically and as a means for developing the technological infrastructure in the country. During the sixties and seventies, his research centered on the understanding of electronic states, the dynamics and energy transfer in condensed and disordered materials, and on intramolecular dynamics. This became the foundation for the study of molecular clusters and nanosystems in the eighties and nineties. He focused on the study of energy acquisition, storage and disposal in chemical systems, as explored from the microscopic point of view. This led to the elucidation of radiationless transitions in large molecules, molecular clusters, condensed matter, and biological systems. Jortner and his group contributed extensively to the novel area of femtosecond chemistry, which constitutes the study of ultrafast chemical and biological processes on the time scale of nuclear motion.

Prof. Jortner served as Deputy Rector, acting Rector and Vice-President of the Tel Aviv University, and was instrumental in establishing Tel Aviv University as an outstanding center of research. He also served in the National Council for Higher Education, the National Council for Research and Development and the Planning and Budgeting committee of the Council on Higher Education. In all these functions he made a central contribution to

Bulletin of the Israel Chemical Society

CHEMISTRY IN ISRAEL



ON THE COVER:
High Resolution Transmission Electron Micrograph picture of nanotubes of NiCl_2 .
Top - General view; Middle - The crystalline arrangement of the nickel atoms on the walls of the nanotubes; Bottom - Computer simulation of the crystalline arrangement of the nickel atoms.
The distance between two neighbouring nickel atoms is 0.58 nm.

Editorial Board

Moshe Levy (Chairman) Weizmann Institute, Tel: 089342120
cplevym@weizmann.weizmann.ac.il

Moris Eisen Technion, Tel: 04-8292680
chmoris@techunix.technion.ac.il

Nava Ben-Zvi Hebrew University, Tel: 02-6584492
navabzvi@vms.huji.ac.il

Noam Grinshpon Chimada, Tel: 07-9983423
noam_gr@chemada.co.il

Haim Cohen Ben-Gurion University, Tel: 07+6567013
hcohen@bgumail.bgu.ac.il

Moshe Nulman Teva, Tel: 03-9255567
nulman@hotmail.com

Miri Kesner Weizmann Institute Tel: 08-9343795
ntkesner@weizmann.weizmann.ac.il

Amnon Shani (President of the Society)
Ben-Gurion University, Tel: 07-6461196
ashani@bgumail.bgu.ac.il

Opening remarks by the President of the Society - Prof. **Amnon Shani**, on the first issue of "Chemistry in Israel". 4

Invited Scientific Contributions:

Inorganic Fullerenes - Reshef Tenne, Weizmann Institute, Rehovot. 5

Protease Inhibitors from the Plant Kingdom - "Friends" or "Foes"? 9
Yehudith Birk (Israel Prize winner 1998), Faculty of Agriculture, Hebrew University, Rehovot.

The chemistry of the Copaxone drug 16
Ruth Amon and Michael Sela (Wolf Prize winners 1998), Weizmann Institute, Rehovot. (in English)

Prominent Figures in the Israel Chemical Society:

Joshua Jortner Tel Aviv University - Currently President of IUPAC, and Past President of the Israel Academy of Sciences and Humanities. 17

Zvi Zur, A pioneer of the chemical industry in the country. 20

Chemistry in the Universities and in Industry:

The Magnesium Plant in Sdom, by Dr. **Tuvia Zisner**. 22

"Production" of Chemists and Employment - Supply and Demand, by Prof. **Amnon Shani**, President, Israel Chemical Society, Ben-Gurion University. 27

Coming Events:

The 64th Annual Meeting of the Israel Chemical Society will take place on the 16 and 17 March, 1999 at the Bar-Ilan University in Ramat Gan. 30

The annual business meeting, and the report by the President of the Society will take place during the Meeting. 32

The Israel Academy of Science announces the Einstein Lecture:

This year's speaker in the lecture series honoring Albert Einstein, on his birthday, will be: Prof. **Albert Eschenmoser**, Wolf Prize Laureate, from Switzerland on: "Chemistry and the Origin of Life" 32

News and reports about meetings held in Israel:

40 years to the van-de-Graaff accelerator at the Weizmann Institute: "From nuclear physics to condensed matter research" 33

The 15th European Chemistry at Interfaces Conference. 34

The 27th Annual Meeting of the Israeli Polymer and Plastics Society 34

2nd Meeting of the Israel Materials Union (AGIL). 35

Report on Infrastructure Research on Advanced Materials.

News from the Universities.

The Weizmann Institute awarded honorary doctorates to two famous chemists: Prof. Jean-Marie Lehn, and Prof. David Baltimore. The National Academy of Science and the Weizmann Institute celebrated Prof. Israel Dostrovsky's 80th birthday with a symposium highlighting his scientific career. 36

The Hebrew University announces the opening of an exhibit in the Berman Hall, The National and University Library, Givat Ram Campus, on: Prof. L. Farkas (1904-1948) - The Story of Pioneering Science 37

37

37

37

37

Chemistry year - plans and happenings

Activities connected with the Chemistry year in Israel 38

The Chemistry Olympiad for high school students is on its way. 39

Obituaries

Prof. Shlomo Alexander, The Weizmann Institute of Science. 41

Prof. Shaul Patai, The Hebrew University. 42

S.N.E.R.

Publisher:
S.N.E.R. Communications Ltd.
55 Weizman St. Tel Aviv. Tel: 03-6959352
E-mail: snercom@internet-zahav.net



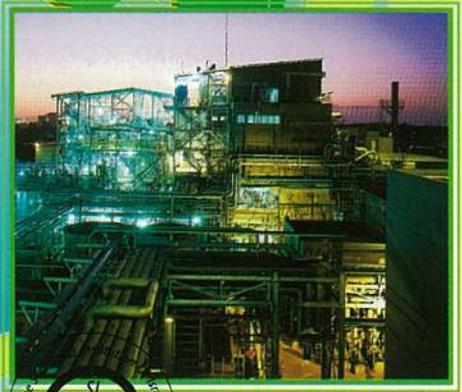
אגן מאיכות המפעל - לאיכות הסביבה!

כשיש כימיה - יש צמיחה!

דגל היופי למפעל איכותי!

גט בעויד - כמו בעבר ובהווה, נמשיך לטפח תעשייה כימית יפה, ונך שיפור ועשייה לאיכות הסביבה וצמיחה כלכלית נמשכת.

השנה הוענק לאגן כוכב הזהב ודגל היופי למפעל איכותי בענף הכימיה בישראל. תודתנו נתונה לעובדינו המסורים, השותפים למאמץ הנמשך לטיפוחה של תעשייה יפה בעיר אשדוד.



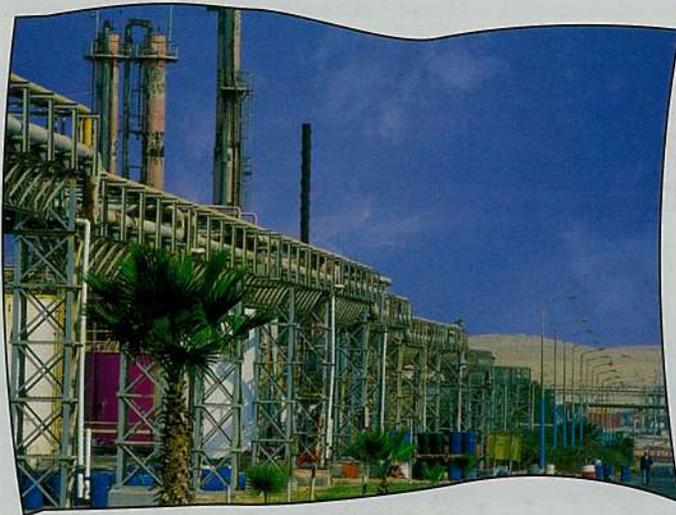
כוכב הזהב ודגל היופי למפעל איכותי שרוענקו מטעם המועצה לישראל יפה



אגן
AGAN
 יצרני כימיקלים בע"מ אשדוד

אגן למען הקהילה, התרבות והאמנות

כשמעלים את טיפוח הסביבה על גס,
זוכים ב- "דגל".

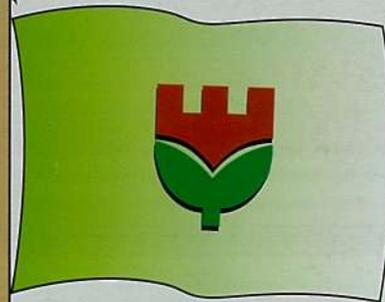


מפעל מכתשים ברמת חובב,
זוכה השנה בפרס הראשון
"דגל היופי" בתחרות
"תעשייה יפה בישראל יפה".

ציון 100 בכל הקטגוריות, קיבל מפעל **מכתשים** ברמת חובב וסלף את **"דגל היופי"** לתעשייה יפה בענף הכימיה, ולא במקרה. מאז הקמתו, הנהלת **מכתשים** שמה לעצמה כמטרה ראשונה במעלה את נושאי טיפוח הסביבה ותנאי עבודתם של העובדים. השנה זוכה המפעל גם בפרס **"נוכב הזהב"** על 5 שנות התמדה רצופות בהשגת הציונים הגבוהים ביותר בטיפוח הסביבה.

"**דגל היופי**" המוענק למפעל מהווה הכרה והוקרה על המאמצים והמשאבים הרבים המושקעים בתחום זה. זאת הוכחה נוספת כי מפעל כימיה מצליח בקנה מידה בינלאומי, אינו רק מקור פרנסה לתושבי הסביבה, אלא תורם גם לאיכות הסביבה.

מכתשים
מפעלים כימיים בע"מ



אגור,

