

דו"ח הוועדה להערכת ההצעה

להקמת

מרכז למאיצים קומפקטיים

ומקורות קרינה

רבי הספק-FEL

דו"ח הועדה להערכת ההצעה

להקמת

מרכז למאצנים קומפקטיים ומקורות קרינה רבי הספק-FEL

ראשי פרקים:

1 תקציר

2 תפקידי וועדת ההערכה ונוהל עבודתה

2.1 חברי הועדה

2.2 מנדט הועדה

2.3 עקרונות הערכת ההצעה

2.4 מהלך עבודת הועדה

3 סיכום קצר של ההצעה

4 הערכת ההצעה

4.1 ההיבט המדעי

4.2 ההיבט התעשייתי

4.3 ההיבט הבטחוני

4.4 ההיבט התקציבי

5 סיכום והמלצות הועדה

6 תודות

נספחים

מוגש לפורום תל"מ

1 יוני 2010

דו"ח הועדה להערכת ההצעה

להקמת

מרכז למאיצים קומפקטיים ומקורות קרינה רבי הספק-FEL

ראשי פרקים:

1 תקציר

2 תפקידי וועדת ההערכה ונוהל עבודתה

2.1 חברי הועדה

2.2 מנדט הועדה

2.3 עקרונות הערכת ההצעה

2.4 מהלך עבודת הועדה

3 סיכום קצר של ההצעה

4 הערכת ההצעה

4.1 ההיבט המדעי

4.2 ההיבט התעשייתי

4.3 ההיבט הבטחוני

4.4 תהיבט התקציבי

5 סיכום והמלצות הועדה

6 תודות

נספחים

מוגש לפורום תל"מ

1 יוני 2010

קבוצת חוקרים מן המרכז האוניברסיטאי אריאל ואוניברסיטת ת"א הגישו לתל"מ באפריל 2009 הצעה להקמת "מרכז למאצנים קומפקטיים ומקורות קרינה רבי הספק - FEL" כפרויקט תשתיתי לאומי. הועדה הנוכחית הוקמה ביולי 2009 כדי להעריך הצעה זו. אולם, כתב המינוי של תל"מ הסמיך את הועדה לדון אף בנושאים אחרים בשטח ההצעה ושטחים סמוכים ככל שתמצא הועדה לנכון.

המתקן המרכזי המבוקש הוא מאיץ אלקטרוניים קווי שיפותח באוניברסיטת קליפורניה, בשיתוף עם המציעים, ויתבסס על שיטה חדשה לאיגוד האלקטרוניים בקרן, שיטת ה-"סופר רדיאנס". המאיץ יכלול פוטו-מזרק מבוסס לייזר, אשר יפיק את חבורות האלקטרוניים, מאיץ בסיסי המורכב משלושה חצאי מהוד הפועלים בטמפרטורת החדר, ושריג מגנטי (וויגלר) אשר ייצר קרינה האלקטרומגנטית בתחום תדרי THz בעת מעבר קרן האלקטרוניים בתוכו.

ההצעה נבחנה משלושה היבטים: ההיבט המדעי (באמצעות קבלת חוות דעת חיצוניות מחמישה שופטים מהצמרת העולמית בתחום), ההיבט התעשייתי (דרך ראיונות עם ראשי תעשיות מובילות) וההיבט הביטחוני (הסתמכות על עבודת המטה שבוצעה במפא"ת וכן ראיונות עם מומחים בתעשייה ביטחונית).

בהסתמך על דוח"ות השופטים, מצאה הועדה כי אין הצדקה מן הבחינה המדעית למימון המתקן כמתקן תשתיתי לאומי, אשר נועד לשרת ציבור חוקרים גדול ממוסדות אקדמיים רבים. החולשות העיקריות בהצעה בהקשר זה הן העדר ציבור משתמשים אקדמי מחוץ לקבוצה המציעה, היותו של המתקן בעל טכנולוגיה מיושנת (למעט השיטה המוצעת של ה"סופר-רדיאנס", אשר ישימותה אינה ודאית, ודורשת מחקר ופיתוח), ביצועי עבר חלשים של אותה קבוצה בשימוש במאיץ האלקטרוניים האלקטרוסטטי המצוי בידה, ועוד. קניית המתקן לא תהווה שדרוג שיאפשר לישראל להתחרות בקו החזית העולמי בשטח זה.

מן ההיבט התעשייתי קיים עניין מסוים בפרויקט המוצע, אף שעיקרו אינו השימוש במתקן עצמו, אלא תוצאת הלוואי המרכזית של קיום המרכז והמתקן: הכשרת כוח אדם אקדמי וטכני של מומחים בשטחי ההאצה, אופטיקת אלקטרוניים, ואקוס, לייזרים וכו' לתעשייה. כוח אדם כזה חסר ביותר בארץ כיום. התעשייה גם רואה בתחום ה-THz תחום משלים לתעשיית האלקטרו-אופטיקה המפותחת מאד בארץ.

מן ההיבט הביטחוני קיים עניין רב מאד במתקן ובמרכז המוצעים, לאור המספר הרב של השימושים הביטחוניים האפשריים המוצעים והמפורטים בפרק 4.3 לעיל. אף שמרבית השימושים העיקריים דורשים עוצמות גבוהות בסדרי גודל רבים מאילו הניתנות להשגה במתקן המוצע, המתקן יעזור, לדעת מערכת הביטחון, לפתח ולבדוק הבנות ורעיונות חדשים בתחום הביטחוני.

הועדה מצאה עצמה סמוך מאד לתחילת עבודתה במצב מביך, שהלך והתגבר עם חלוף הזמן. מצד אחד התבקשה הועדה לשפוט את ההצעה ולהמליץ על קבלתה, דחייתה, או מצבי ביניים בין שתי קצוות אלו. מצד שני התברר לוועדה כי מפא"ת כבר קנתה למעשה את המאיץ, או שהיא קרובה ביותר לעשות כן. לאור זאת נאלצה הועדה לקחת כתנאי סף להמלצותיה, לטוב ולרע, את עובדת קיומו של המתקן בידי המציעים.

בתנאים אלו, ולאור העובדה שמההיבטים הביטחוניים והתעשייתיים יש עניין בנושא, אף כי מההיבט המדעי אין הצדקה למתקן כמתקן לאומי, הועדה ממליצה בפני תל"מ על מימון מצומצם בסכום כולל שלא יעלה על \$1,015,000 (מעבר לסכום של \$1,350,000 ששולם ע"י מפא"ת). פירוט לסעיפים שהועדה ממליצה לממן, תקופת המימון, והתנאים שחייבים לדעת הועדה להתמלא לשם מתן המימון מפורטים בפרק הסיכום וההמלצות של דו"ח זה.

2 תפקידי ועדת ההערכה ונוהל עבודתה

2.1 חברי הועדה

ד"ר משה אורון- (חבר) בוגר ומוסמך הטכניון בהנדסת חשמל, דוקטורט באופטיקה בשטח הלייזרים מאוניברסיטת רוצ'סטר, ארה"ב. מדען ראשי של קילולמבדה טכנולוגיות בע"מ. סגן נשיא של ICO- International Commission of Optics. שטחי פעילות עיקריים: אופטיקה, אופטיקת יונים, לייזרים, ננוטכנולוגיה.

פרופ' משה דויטש – (יו"ר) פרופסור לפיזיקה באוניברסיטת בר-אילן. יו"ר הועדה הלאומית לקרינת סינכרוטרון של האקדמיה הלאומית למדעים. שטחי פעילות עיקריים: שימושי קרינת סינכרוטרון, חקר פנים, חקר חומר מעובה, ספקטרוסקופיה ואופטיקה של קרינת-X.

גד לוי - (חבר ומרכז הועדה) כלכלן. בעל ניסיון בכלכלת מו"פ ומדיניות מו"פ ממשלתית.

פרופ' מיכאל מונד – (חבר) פרופסור להנדסה מכנית באוניברסיטת בן-גוריון. שטחי פעילות עיקריים: פיסיקת הפלסמה, מגנטוהידרודינמיקה, יישומים לכורי היתוך, התפרקות חשמליות, ואסטרופיסיקה.

ד"ר צבי קפלן- (חבר) מנהל סוכנות החלל במשרד המדע והטכנולוגיה. דוקטורט בפיסיקה ממכון וייצמן למדע ולשעבר מנהל המרכז הגרעיני בנחל שורק. שטחי פעילות עיקריים: פיסיקת הפלסמה, לייזרים רבי הספק, האצה חשמלית של קליעים, הנעת פלסמה בחלל ומאיצים.

פרופ' לוי שכטר- (חבר) פרופסור להנדסת חשמל בטכניון. שטחי פעילות עיקריים: אלקטרודינמיקה, מקורות קרינה רבי עצמה, מאיצים ושיטות האצה חדשות.

2.2 מנדט הועדה

כתב מינוי הועדה מצורף כנספח א'. בכתב המינוי נתבקשה הועדה לבדוק את ההיבטים הבאים:

א. לבדוק את עוצמת הצורך, האפשרות, העלות והתועלת למו"פ בישראל בהקמת תשתית לאומית, מדעית וטכנולוגית בתחום מאיצים זעירים ומקורות קרינה רבי הספק. הנכם מתבקשים לבדוק את הנושא בהתחשב בתשתיות הקיימות ובצרכים של מערכת הביטחון, התעשייה, הרפואה והאקדמיה.

ב. לבדוק את הצעת אוניברסיטת ת"א והמרכז האוניברסיטאי באריאל מיום 02/04/09 ומידת התאמתה לצורך הלאומי (סעיף א' לעיל):

(1) להעריך את חשיבות הפיתוח המקומי של טכנולוגיית הלייזרים מבוססי RF-LINAC וטכנולוגיית הלייזרים של (Free Electron Lasers) FEL.

(2) להעריך את התועלות (בדגש על התעשייה), לוח הזמנים, העוצמות והחולשות של הטכנולוגיה המוצעת ביחס לחלופותיה (אם קיימות) והשימושים בתחומי הביטחון, התעשייה, הרפואה והמדע.

(3) לבדוק ולקבוע האם הפרויקט המוצע הינו ייחודי, הניתן לביצוע רק במסגרת המוצעת? או שמא אפשרי לביצוע גם על-ידי מוסדות נוספים? היה ויאותרו גופים נוספים המסוגלים להקים תשתית כזו, אזי לאפיין "קול קורא" בדגש על התבחינים להערכת ההצעות.

(4) במידה שיבוסס הצורך בתשתית המוצעת, אזי לאפיין מודל לפעילות מרכז המשתמשים המוצע תוך התייחסות לקידום שתוף הפעולה בין האקדמיה לתעשייה ולהיבטים הבאים:

היבטים מדעיים ומחקריים – לרבות עקרונות להקצאת זמני גישה למשתמשים.
היבטים ארגוניים – הגדרת מודל שרות לכלל המגזרים.

היבטי תשתית – פיזית ואנושית.

היבטים כלכליים – עלויות, מקורות ושימושים, משך התמיכה, מודל מימון למשתמשים ומסחור התוצרים.

ג. לבדוק ולהמליץ על כל נושא נוסף, שלפי דעת הוועדה קשור לעניין שבנדון.

יחד עם זאת, לאור רוחב היריעה והיקף העבודה הנגזרת מכך, ניתנה לוועדה הסמכות להגדיר ולהגביל את היקף ונושאי עבודתה מבלי לפגוע כמובן בשאלות הליבה עליהן התבקשה לענות.

2.3 עקרונות הערכת ההצעה

ההצעה הוגשה ע"י קבוצת חוקרים משני מוסדות אקדמיים: אוניברסיטת ת"א והמרכז האוניברסיטאי אריאל, המפעילים יחדיו מזה עשור מתקן FEL אחר באותו אתר.

כל המציעים הינם אנשי אקדמיה העוסקים במחקר מדעי. בתקציר מציינים המציעים את מטרת ההצעה: "לבסס תשתית לאומית מדעית בתחום מאיצים זעירים ומקורות קרינה רבי הספק". מקריאת ההצעה עולה כי על אף שהמרכז נועד לשרת גם משתמשים בנושאי ביטחון ומו"פ תעשייתיים, המרכז והמאיץ המוצעים נועדו בעיקר למחקר מדעי.

לאור זאת החליטה הועדה לתת משקל עיקרי לשימוש המדעי של המתקן והמרכז הן כאשר מדובר במשתמשים בקרינת ה-THz ובאלומת האלקטרונים של המאיץ, והן כשמדובר בחברי המרכז (ואחרים) שיעסקו בפיתוח המכשיר ושיטות ההאצה, ה-FEL, והקרינה האלקטרומגנטית. יחד עם זאת יינתן משקל נכבד להיבטים נוספים של המתקן והמרכז המוצעים, והם, לפי סדר עדיפות יורד:

- א. חשיבות ושימוש המתקן למו"פ תעשייתי אזרחי, תעשייתי-בטחוני ולמערכת הביטחון.
- ב. הכשרת כוח אדם מדעי וטכני גם עבור מחקר אקדמי אך בעיקר עבור התעשייה לסוגיה.
- ג. שימור ופיתוח הידע בארץ בתחום מאיצים מחד וקרינה אלקטרומגנטית בתחום ה-THz ואורכי גל קצרים יותר מאידך.
- ד. האפשרות לשדרג בעתיד את המכשיר לתחומי אורך גל ועוצמות אחרים, בהתאם להתקדמות בעולם.

חשוב להדגיש כי על פי מטרות תל"מ, כתב המינוי של הועדה הנוכחית והמטרה המוצהרת של המציעים, הערכת ההצעה נעשתה בהקשר הלאומי, דהיינו: האם מתקן זה נחוץ ברמה הלאומית, ולא רק לשימושה של קבוצה בודדת, או אף מספר קבוצות קטן מתוך כלל הקהילייה המחקרית/תעשייתית/ביטחונית בארץ.

2.3.1 ההיבט המדעי

ההערכה המדעית נשענת על שלושה נושאים עיקריים:

הנושא הראשון הוא בדיקת ההצעה לגופה בדרך המקובלת להצעות מסוג זה בקהילייה המדעית הבינלאומית, דהיינו ע"י שיפוט אנונימי (למציעים) בינלאומי ע"י אנשי מדע העובדים בתחום זה (ראה סעיפים 2.4 ו-5). מכתב הפניה לשופטים רצ"ב כנספח ב'. השאלות העיקריות עליהן נתבקשו השופטים להשיב הן:

1. האיכות המדעית של ההצעה (כולל הישימות והחשיבות של השימושים המוצעים).
2. חשיבות שטח ה-THz מבחינה מדעית.
3. חדשנות המתקן המוצע. האם הוא "state of the art"? האם יכניס טכנולוגית-קצה לישראל?
4. אפשרויות השדרוג של המתקן בעתיד.
5. התאמת התקציב המבוקש למטרותיה של ההצעה ולציוד המבוקש.

הנושא השני הוא בדיקת קיומו והיקפו של ציבור משתמשים מדעי-מחקרי אשר ישתמשו במתקן המוצע. כאן נעשתה ההערכה הן על בסיס הכרות חברי הועדה עם ציבור המדענים בארץ והן על בסיס גיליון אלקטרוני אשר התקבל מן המציעים (נספח ג') על פי דרישת הועדה והכולל את רשימת המדידות שנעשו במרכז הידע הקיים כיום באריאל אשר בראשו עומדים המציעים דהיום. במיוחד הושם הדגש על שימוש במתקן ה-FEL האלקטרוסטטי שהנו המתקן המרכזי במרכז היום ואשר את יכולותיו בא המתקן החדש להרחיב.

הנושא השלישי הם ביצועי העבר של המרכז בעיקר בשימוש ב-FEL האלקטרוסטטי הקיים, הן בפיתוח המתקן עצמו, בפיתוח ציבור משתמשים, והן בפרסום תוצאות בספרות הבין-לאומית. כאן התבססה הוועדה על רשימת הפרסומים בשנים 2007-2009 שנמסרה על פי דרישת הוועדה ע"י המציעים (נספח ד', וניתוחו ע"י הוועדה, נספח ה').

2.3.2 ההיבט התעשייתי והביטחוני

איתור בעלי העניין וקבלת מידע במגזרים אלו מסובכת וקשה יותר מאשר בגופי המדע. על כן, נאסף המידע בקבוצה זו ע"י פניות אישיות אל אנשי מפתח (מדענים ראשיים, ראשי אגפים וכו') בגופים תעשייתיים וביטחוניים שעשויים להיות מעוניינים בתחום ובציוד שבהצעה. בנוסף, חברי הוועדה נעזרו ברשימת המשתמשים התעשייתיים במתקן הנוכחי. רשימה אותה סיפקו המציעים לוועדה. נבחנו השאלות הבאות:

1. האם לנשאלים יש תכניות קיימות, או תחזית לשימוש עתידי ישיר במתקן המוצע ו/או בתחום ה-THz.
2. האם הם צופים תועלת עתידית ישירה או עקיפה מקיומו של המרכז והציוד המוצע ואם כן איזו.

כצפוי, נתקבלו הערות והארות נוספות מן האנשים שהוועדה פנתה אליהם מעבר לשאלות הפרטניות של הוועדה, ואלו נדונו בוועדה והובאו בחשבון במסקנות ובהמלצות.

2.4 מהלך עבודת הוועדה

חברי הוועדה התכנסו 5 פעמים לישיבה של מספר שעות כל פעם. אחת הישיבות הוקדשה להצגת ההצעה ע"י המציעים. בנוסף נערכו התייעצויות רבות בין חברי הוועדה הן טלפונית והן ע"י דוא"ל.

בנוסף לידע ולמומחיות האישיים של חברי הוועדה והמידע הכלול בהצעה עצמה מצאנו צורך באיסוף מידע נוסף כדלהלן:

1. לאור המספר המצומצם של חוקרים בנושא הנדון בארץ, ולהבטחת שיפוט מדעי הוגן, מעמיק, ומקצועי, נתבקשו המציעים להגיש גרסה אנגלית של ההצעה. גרסה זו נשלחה לשישה מומחים מהמובילים בעולם בשטח ההצעה אשר נבחרו בקפידה ע"י הוועדה לאחר התייעצות מדוקדקת עם מספר מומחים. למרות היקף ההצעה והעבודה הכרוכה בכתיבת ההערכה נענו חמישה מומחים ושלחו חוות דעת המצורפות כנספח ב'.

2. להערכת ביצועי העבר במרכז הקיים באריאל והמנוהל על ידי המציעים, נתבקשו המציעים לספק רשימת מאמרים אקדמיים אשר פורסמו כתוצאה של העבודה במרכז הנוכחי. כמו כן נתבקשו המציעים לספק רשימת משתמשים בתעשייה, בביטחון ובאקדמיה בחתך ועם מידע שהוגדרו ע"י הוועדה. מידע זה נמסר במלואו ע"י המציעים ונדון בוועדה. הוא רציב כנספח ג'.

3. שנים מחברי הוועדה ראינו אנשי מפתח במערכת הביטחון ובתעשייה האזרחית והביטחונית כדי לעמוד על היקף הצרכים הביטחוניים והתעשייתיים בתחום פעילותו של המרכז המוצע.

4. לפני כחודשיים העבירו המציעים מסמך נוסף לות"ת וביקשו לצרפו להצעתם. המסמך כולל שימוש מוצע נוסף למתקן, אשר עלה לאחרונה בלבד עקב הוצאה משימוש של מאיץ אלקטרוניים המצוי באוניברסיטה העברית. גם שימוש מוצע זה נידון בוועדה. המסמך מצורף כנספח ד'.

5. לפני כחודש, לאחר שהושלם איסוף המידע בערוצים שפורטו לעיל, הוזמנו מגישי הבקשה להציג בפני הוועדה את פרטי הצעתם ולענות לשאלות הוועדה.

בישיבותיה האחרונות עסקה הועדה בנייתו כלל החומר שהובא לפני הועדה, הסקת המסקנות העולות ממנו וגיבוש המלצות לתל"מ. השלב האחרון בעבודת הועדה היה ניסוח הדו"ח המסכם המוגש בזה לתל"מ.

3 סיכום קצר של ההצעה

המציעים מבקשים מימון להקמת מרכז לשימושי קרינה אלקטרומגנטית בתחום ה-THz במסגרת מרכז הידע הקיים באריאל. המרכז יתבסס על מאיץ אלקטרוני קווי שיקנה ויפתח באוניברסיטת קליפורניה, בשיתוף עם המציעים. המאיץ יכלול פוטו-מזרק מבוסס לייזר, אשר יפיק את חבורות האלקטרונים, מאיץ בסיסי המורכב משלושה חצאי מהוד הפועלים בטמפרטורת החדר (כלומר אינם על-מוליכים), ושריג מגנטי (וויגלר) אשר ייצר את הקרינה האלקטרומגנטית בעת מעבר קרן האלקטרונים בו. הטכנולוגיה המתוארת ותיקה. החידוש הוא בשימוש בשיטה של "סופר-רדיאנס" עבור חבורות האלקטרונים, אשר מסוגלת לתת עצמות גבוהות מהמקובל בשיטה הרגילה. חסרון השיטה הוא בהיותה ישימה בתחום אנרגיה מוגבל בלבד.

השיטה דורשת פיתוח, אשר יעשה בארה"ב במשך תקופה הצפויה לארוך כשנתיים. תלמיד מחקר העומד לסיים תואר שלישי תיאורטי בקבוצת פרופ' גובר מיועד לעשות פוסט-דוק נסויי בקבוצה המפתחת את המתקן, במהלכה ישתתף בפיתוח המתקן, ועם סיום הפיתוח והצבת המתקן בישראל יחזור ארצה וישמש בתפקיד מדען מוביל בפרויקט.

המציעים מתכוונים גם לשדרג בעתיד את המאיץ הבסיסי המבוקש עתה על ידי הוספת יחידות האצה, כדי שיוכל לספק קרינה באורכי גל קצרים יותר.

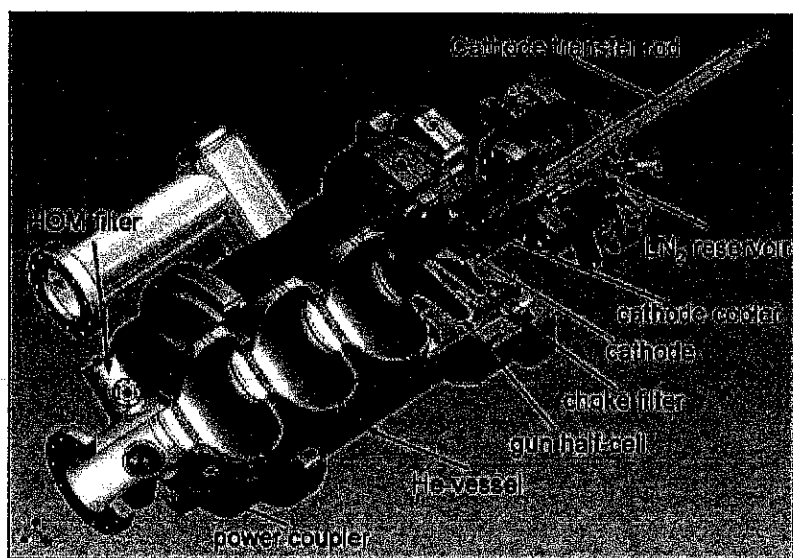
ההצעה כוללת גם רשימה ארוכה של שימושים אפשריים בקרינה בתחום ה-THz, בהם: דימות ממרחק, ניטור ספקרוסקופי של חמרים ואטמוספירה, שידור אנרגיה, דימות ודיאגנוסטיקה רפואיים ועוד. כמעט כל השימושים המוצעים הם ספקולטיביים בלבד, וטרם עברו אפילו שלבים התחלתיים של בדיקת סבירות או היתכנות.

התקציב המבוקש נועד לכסות את העלויות הבאות: (א) קניית המתקן ופיתוחו בארה"ב, כולל עלות הציוד הנלווה (אלקטרוניקה, ואקום, קירור, תוכנות סימולציה ועוד) (ב) הובלה והרכבה (ג) כח אדם טכני ומדעי ל-5 שנים (ד) עלות המבנה בו יוצב המאיץ (ה) תפעול ופיתוח ל-5 שנים (ו) תקורה.

4 הערכת ההצעה

4.1 ההיבט המדעי

4.1.1 מאיצים: מבנה ותכונות



המרכיב הראשון בכל מאיץ אלקטרוני הוא מסור האלקטרונים. המטרה היא לייצר קבוצות של אלקטרונים המתפרסים לאורך קטן בהרבה מאורך הגל של השדה אשר יאיץ אותם בהמשך הדרך. בעשרים וחמש השנים האחרונות הפוטו-מזרק (photo-injector) הפך לסטנדרט העולמי לייצור של קבוצות אלקטרונים כאלו בגלל הטמפרטורה הנמוכה של קבוצת האלקטרונים הנוצרת. כאן נוצרות חבורות אלקטרונים עיי הארת פוטוקטודה עיי לייזר בעל עצמה גבוהה העובד בתחום

האופטי. אורך פולס הלייזר קובע את אורך קבוצת האלקטרונים וקצב הפולסים קובע את קצב פליטת קבוצות האלקטרונים. לאחר פליטתם עוברים האלקטרונים דרך שלב המורכב ממספר אי-זוגי של חצאי מהוד, אשר מאיץ את האלקטרונים על ידי קרינת מיקרוגל. אנרגיית האלקטרונים במוצא מהפוטו-מזרק משתנה ממכשיר למכשיר והיא יכולה להתחיל ממספר MeV בודדים לעשרות MeV. האיור שבצד מתאר באופן סכמתי פוטו-מזרק עשוי חומר על-מולך (ועל כן מקורר לטמפרטורות של הליום נוזלי) המאפשר פעולה בזרמים גבוהים.

האצה של חלקיקים גורמת להרחבת האלומה בכיוונים הניצבים לתנועתה. לכן, בין הפוטו-מזרק לשלב ההאצה הבא ממוקמת עדשה מגנטית אשר מרכזת חזרה את האלקטרונים לאלומה צרה.

בשלבים הבאים שלאחר הפוטו-מזרק מואצות קבוצות האלקטרונים שבאלומה על ידי מבני האצה סטנדרטיים אשר כוללים (בהתאם לאורכם) רכיבים למיקוד האלומה (אופטיקה של אלקטרונים) שתפקידם להקטין את חתך אלומת האלקטרונים שהורחבה על ידי מתקני ההאצה. לאחר שלב זה מוזרקים האלקטרונים למתקן המנצל את האלקטרונים ליצירת קרינה. מתקנים אלו הנם רביס ושונים. במתקנים קטנים בעלי אנרגיה נמוכה יחסית מוזרקים האלקטרונים, באמצעות אופטיקה מתאימה, לתוך מבנה מחזורי של מגנטים אשר מנדנדים את האלקטרונים ומיצרים קרינה. במתקנים בינוניים בגדלם ובאנרגיה שלהם מוזרקים האלקטרונים למבנה טבעתי (למעשה מבנה רב-צלעות עם קטעים ישרים בין הקודקודים) אשר תפקידו להאיץ את האלקטרונים לאנרגיה גבוהה, תוך שמירה על אלומת אלקטרונים צרה. היקף טבעת כזו יכול לנוע בין עשרות מטרים למאות מטרים. לאורך המסלול מותקנות תחנות עבודה בהן מנוצלת הקרינה האלקטרומגנטית הנפלטת מקרן האלקטרונים לצרכים שונים, רובם מחקר מדעי ומיעוטם מחקר ופיתוח תעשייתיים ו/או רפואיים. מתקנים טבעתיים אלו ידועים בשם (הלא מדויק) סינכרוטרונים. אנרגיית אלומת האלקטרונים במתקנים אלו נעה בין 0.8 GeV ועד 8 GeV והם מספקים קרינה אלקטרומגנטית בעוצמה גבוהה בתחומים שמן האינפרא-אדום ועד קרינת-x, בהתאם לאנרגיה של קרן האלקטרונים. בדור החדש והחדשני ביותר של המאיצים, מוזרקים האלקטרונים לאחר ההאצה לאנרגיות גבוהות במאיץ טבעתי למסלול לינארי נוסף בו הם פולטים קרינה (בד"כ בתחומי קרינת-x הרכה והקשה) בפולסים קצרים ביותר (עשרות פמטושניות) בעלי קוהרנטיות גבוהה, ועוצמת-על. "ספינות הדגלי" של מתקנים אלו הם ה-LCLS הנמצא באוניברסיטת סטנפורד, ארה"ב, שכבר פועל חלקית, וה-XFEL הנמצא בבנייה במרכז המאיצים הגרמני DESY בהמבורג.

מבחינה היסטורית הדור הראשון של מרכזי קרינה, נבנה ב UCSB על בסיס מאיץ אלקטרוסטטי דומה בעקרון למה שקיים היום באריאל. הדור השני של מרכזי קרינה מבוסס על מאיץ טבעתי והקרינה היא ממגנטים אחידים הנמצאים בקדדי המצולע של המאיץ הטבעתי (קרינת סינכרוטרון). עלות בניה של מתקן מעין זה היא 200-300 מיליוני דולרים. הדור השלישי מתבסס על פליטת הקרינה ע"י מבנים מגנטיים מחזוריים בקטעים הישרים של המבנה המצולע של מאיץ טבעתי. מאיצים אלו הם בעלי אנרגיות גבוהות יותר (6-8 GeV ויותר), ועלותם כ-1 מיליארד דולר ויותר. לדור הרביעי והחדשני ביותר של מרכזי קרינה משתייכים שתי קבוצות: האחת מבוססת על מאיצים לינאריים מאוד אנרגטיים כדוגמת LCLS ו-XFEL הפועלים בזרם נמוך יחסית, ועלותם כ-2 מיליארד דולר. הקבוצה השנייה הם מתקנים הנקראים Energy Recovery LINAC (ERL) שבהם קרן האלקטרונים של המאיץ הלינארי מוחזרת לתחילת המאיץ ע"י מבנה דמוי טבעתי, ואנרגייתה ממוחזרת. עלות מתקנים אלו, הנמצאים בתכנון ובניה, היא כמה מאות מיליוני דולרים.

אנו מבקשים לציין כי בפרק המבוא להצעה ישנה התייחסות למספר מתקני קרינה ברמה אוניברסיטאית (טבלה א-5) וברמה הלאומית (איור א-2). חשוב להדגיש כי שתי קבוצות אלו הינן שונות בתכלית זו מזו בכל הקשור להשקעה ראשונית, פרמטרי עבודה, צוות תפעול, צוות משתמשים וכמובן תקציב שנתי. התקנים ברמה הלאומית הן לרוב בגודל שבין מגרש טניס לזה של מגרש כדורגל. תקציב ההקמה הוא מסדר גודל של מאות מיליוני דולר, המתקן מתוחזק על ידי עשרות אנשים ותקציב התפעול הוא עשרות רבות של מיליוני דולר לשנה. במרכזים הקטנים יותר באוניברסיטאות המימדים קטנים בהרבה, הביצועים צנועים יותר, צוות החוקרים והמתפעלים והמשתמשים מצומצם יותר. עלות ההקמה בין 100-50 מיליון דולר וגם התקציב השנתי לרוב עד 10 מיליון דולר. המטרה העיקרית של המתקנים הלאומיים היא להרחיב את מעטפת הביצועים ולספק שירות למשתמשים. המטרות של המתקנים האוניברסיטאיים הן לבחון רעיונות חדשניים ולחנך דור חדש של חוקרים. בהרבה מקרים (במיוחד בארה"ב) הקמפוסים בהם

נמצאים המתקנים הם בקרבה פיזית (או אקדמית) למעבדות לאומיות. גודל קהיליית המשתמשים שונה ממתקן למתקן והוא נע בין עשרות בודדות (למתקן אוניברסיטאי) ועד לאלפי משתמשים (למתקן לאומי) אולם בכל המקרים הדחף להקמת מתקן, הפעלתו השוטפת ושדרוגו בא מלמטה: מתקנים מוקמים כאשר קיימת מטה קריטית של משתמשים אשר פעילותם הקודמת נעשתה במקומות אחרים ואשר זקוקים למתקן חדש או מסיבות גיאוגרפיות או מסיבות של צורך לחרוג מעבר לביצועיהם של מתקנים קיימים. הועדה רואה על כן חשיבות רבה מאד בקיומה של מסת משתמשים קריטית כהצדקה להקמת מתקן המיועד להיות מתקן לאומי. פועל יוצא מקיומם של קהיליית משתמשים רחבה ומגוונת היא העובדה שהמחקר המתנהל במתקני קרינה מהסוגים שתוארו לעיל, ובמיוחד במתקנים לאומיים, הוא הבסיס למאות רבות של מאמרים מדעיים כל שנה בתחומי הרפואה, הביולוגיה, הכימיה, הפיזיקה, מדע חומרים, הנדסות שונות, ואפילו ארכיאולוגיה וחקר תרבויות. דוגמה עדכנית לכך היא פרס הנובל בכימיה שהוענק השנה לפרופ' עדה יונת על עבודה רבת שנים שעשתה שימוש אינטנסיבי בקרינת-x במספר מקורות סינכרוטרון בעולם.

4.1.2 מצב התחום בארץ

לא קיימים בישראל, למעשה, מאיצי מחקר המאפשרים לייצר קרינה בדומה לזו המוצע בהצעה הנוכחית. שני המתקנים הגדולים היחידים, הפלטרון הותיק של מכון ויצמן (שהוצא משימוש), והמאיץ העל-מוליך "שרף" המוקם עתה (בתמיכת תל"מ) בממ"ג שורק, הם מאיצי יונים שאינם מתאימים ליצור קרינה אלקטרומגנטית. מעבר לכך קיימים רק מאיצי רפואיים חלשים לטיפול אונקולוגי בבתי חולים. בהקשר זה ישנם טכנאים בחברות המתחזקות מתקנים אלו בארץ שיש להם ידע מעשי מסוים בתחומים הנדרשים לתחזוקת המאיצים.

המאיץ היחיד להפקת קרינה הוא מתקן ה-FEL האלקטרוסטטי הנמצא באריאל והמנוהל על ידי המציעים הנוכחיים. מקורו במאיץ ואן דה גרף ותיק מאד של 6MeV שהוצא משימוש במכון ויצמן בשנות התשעים. קבוצת המציעים הנוכחית העבירה את המאיץ הישן הזה לאריאל במימון של גורמים שונים, בנייהם ממשלתיים. מלכתחילה היה ברור שהתוצאות המדעיות שעשויות להתקבל ממאיץ זה תהיינה צנועות ביותר לעומת המצב בעולם (מרכז קרינה מהדור השלישי היה כבר בבניה - JLAB). על אף ההשקעה הכספית הנכבדה, העבודה המאומצת והמסורה שנעשתה על ידי חברי הקבוצה (ביניהם מספר לא מבוטל של מתנדבים בגמלאות), אכן לא הניב מתקן ישן זה פרי מחקרי רב, ורק מאמר ניסויי בודד (Socol et al., Phys. Rev. Spec. Top.-Acc. Beams 8, 080701 (2005)). שנעשה בעזרת מתקן זה הופיע בספרות המקצועית במהלך עשר השנים האחרונות. יחד עם זאת, נעשתה פעילות ניסויית מסוימת במרכז, אף כי זו התרכזה בשימוש במקורות אחרים, כגון שפופרות, לצורך מדידות שונות עבור גופים ביטחוניים ותעשייתיים, כמפורט בנספח ג'.

אף שלא קיימים מאיצי המפיקים קרינה לצרכי מחקר בארץ, קיימות למעלה מ-40 קבוצות מחקר באקדמיה בישראל המשתמשות בקרינה שמופקת במרכזי קרינה, ברובה המכריע בתחום קרינת-x. כולם, ללא יוצא מהכלל, משתמשים במתקנים הנמצאים מחוץ לישראל. ישראל חברה במתקן כזה, European synchrotron radiation facility (ESRF). תקופת התברות הראשונה מומנה ע"י תל"מ. ישראל גם משתתפת, יחד עם מדינות אחרות במזרח התיכון, בהקמת מתקן סינכרוטרון אחר (זול יותר וצנוע יותר ביכולותיו), SESAME, העתיד לקום בירדן. נושאים ברמה הלאומית הקשורים למקורות קרינה מטופלים זה למעלה משני עשורים על ידי הועדה הלאומית לקרינת סינכרוטרון של האקדמיה הלאומית למדעים. החברות ב-ESRF, SESAME והקמת ועדת הסינכרוטרון נעשו בשל לחץ "מלמטה": ציבור המשתמשים במקורות קרינה אלו בארץ התרחב והלך, וציבור זה לחץ להקמת ועדת הסינכרוטרון ולחברות, ואפשרות גישה, ל-ESRF, שהוא אחד ממתקני הצמרת בעולם בשטחי מדע דורשי קרינה. מעבר לכך, קיימת פעילות עצמאית של בודדים וקבוצות, כולל מחקר ניסויי בשטח הפיזיקה של מאיצים ע"י אחד מחברי הועדה (ל.ש.), הנעשים במקורות קרינה ומרכזים שונים ברחבי העולם.

קהיליית משתמשים בתחום ה-THz לא התפתחה בארץ, על אף הימצאותם של מתקנים בעולם בהם ניתן לקבל זמן שימוש, בדומה למקובל בשימושי סינכרוטרון בתחום קרינת-x. הן מנספת ג' והן מנספת ד' עולה כי מספר המשתמשים בקרינה בתחום ה-THz באקדמיה בישראל מצומצם ביותר: כ-2-1 משתמשים

אקדמיים בלבד במתקן ה-FEL האלקטרוסטטי הקיים, או במתקנים השולחניים המצויים שם, מחוץ לארץ.

4.1.3 שופטי ההצעה

ששת השופטים אליהם פנתה הוועדה הינם מומחים בצמרת העולמית בתחום של מאיצים ליצור קרינה, ומכירים היטב הן את היכולות של המאיצים השונים והן את הקהילייה המדעית הבינלאומית העוסקת בפיתוח, וזו המשתמשת, במקורות קרינה כאלו. חלקם ניהלו, וחלקם מנהלים בהווה, מרכזי מאיצים לאומיים או אוניברסיטאיים. חלקם ליוו את תחום המאיצים לצרכי קרינה מאז שהיה בתוליו. הפניה נעשתה לשופטים שלמיטב ידיעתה של הוועדה, ושל מספר אנשים בהם נועצה הוועדה, אינם נמצאים בקשרים כלשהם עם מי מהמציעים ואינם נגועים בניגוד אינטרסים כלשהו. אנו מבקשים לציין כי על אף העובדה שהפניות נעשו לאנשי צמרת בנושא, היענות השופטים הייתה יוצא דופן: הוועדה קיבלה 5 חוות דעת והתנצלות אחת. תודתנו העמוקה שלוחה לשופטים על היענות בלתי רגילה זו.

4.1.4 סיכום חוות הדעת

חוות הדעת מצורפות כנספח ו'. פרטי זיהוי הוסרו, כמקובל בשיפוט מדעי אנונימי, וכפי שהובטח לשופטים. נדון כאן רק בנקודות העיקריות העולות מחוות הדעת.

כל השופטים מסכימים שתחום ה-THz הוא תחום פעיל ו"חם" בעשור הנוכחי: "Interest in the field is so great that several major accelerator facilities have been constructed worldwide to produce large quantities of THz radiation (שופט א'). יחד עם זאת, לפחות שופט אחד (ג') מציין כי העניין נובע בעיקר מכך שתחום אורך גל זה טרם נחקר לעומק עקב העדרם, עד לאחרונה, של מקורות קרינה מתאימים, ולא דווקא מן הצפי לתגליות מדעיות. הוא מוסיף כי על אף מספר נכונותם של קרנות מחקר לממן מחקרים בתחום זה "the set of problems to be solved or systems to be probed has been rather constant during this period" שופט ד' מצטרף לדעה זו בציין שהדרישה העולמית (דהיינו מצד המשתמשים) לקרינת THz אינה רבה. נראה על כן שחשיבות התחום עבור המחקר המדעי והשימושים הצפויים אינה מוסכמת על הכול, ועיקר המאמץ המחקרי כיום ממוקד בפיתוח המאיצים ושיטות ההאצה ליצירת הקרינה, ולא במחקר מדעי המשתמש בקרינה זו.

עניין אחר בו קיימת הסכמה רחבה היא כי המתקן המוצע אינו חדשני: "the technology is not very new or challenging" (שופט א'), "technology of the type proposed is mature and relatively low risk" (שופט ה'), "The gun is not very novel" (שופט ד'), אף כי שופט אחד מוצא כי "this equipment is fully state of the art" (שופט ב'). הוועדה מסכימה בנושא זה עם דעת הרוב. לפחות שניים מן השופטים ממליצים על שימוש במהוד על-מוליך, רכיב חדשני הרבה יותר, אשר ייתן עצמות קרינה גבוהות הרבה יותר מהמתקן שבהצעה. אולם עלות מתקן זה, ובמיוחד הוצאות השימוש השוטף בו, גבוהות בסדר גודל מהסכום המבוקש בהצעה זו. השופטים מסכימים כי שיטת ה"סופר רדיאנס" המוצעת להפעלת המכשיר היא הנקודה החדשנית היחידה בהצעה, אף כי השופטים המתייחסים לנושא זה מציינים שדרוש עדיין מחקר מעמיק לבדיקת ישימות שיטה זו באנרגיה המוצעת לפעולת המאיץ. שופט ד' מציין כי אף אם יוכח שאופן הפעלה זה אפשרי במתקן הנוכחי, שדרוג המכשיר לאנרגיות גבוהות יותר, כמוצע, יקשה מאד על ישום שיטת הפעלה זו.

בנושא השימושים המוצעים בהצעה, ושימושי קרינה בתחום ה-THz בכלל, קיימת ספקנות אצל לפחות חלק מהשופטים. דעותיהם של שופטים ג' ו-ד' על השימושים המוצעים בתחום בכלל הובאו לעיל. שופט ג' מצביע על חוסר החדשנות בשימושים המוצעים בהצעה זו "The research topics presented in the current proposal, while not identical in detail to others I'm aware of, don't really break

“In new ground. גם שופט ב' מביע ספקנות לגבי חלק מהשימושים המוצעים בעולם לתחום ה-THz, “my mind some of the ideas are fanciful and wishful thinking” שופט ה' מוצא נתק בין תיאור המתקן ובין תיאור השימושים: “what is lacking is a coherent discussion of how a THz user facility will operate in a way that would be better than what currently exists” לטוב את הדעות לגבי השימושים המוצעים, כי השימושים המוצעים הם ג'נריים, ואינם מחדשים לעומת השימושים המוצעים זה זמן ניכר ברחבי העולם בתחום תדרים זה.

באשר למידת התחרותיות של מתקן, ישנה הסכמה כללית כי קו החזית של תחום המאיצים ליצירת קרינה נמצא במתקנים הגדולים, וכי המתקן המוצע אינו בר תחרות בתחום זה. יחד עם זאת, מרבית השופטים מסכימים כי המתקן המוצע יכול להוביל בעתיד לשימוש חוקרים ישראל במתקני-חזית ברחבי העולם (שופט א') יפתח טכנולוגיה חדשה יחסית בישראל וישמש כלי-הוראה ואימון טוב לחוקרים ותלמידי מחקר (שופטים ב' ו-ג'). דברי שופט ה' מבטאים את רוח דברי שאר השופטים “It has the appropriate scale size for a country such as Israel with limited resources”

רוב השופטים אינם נלהבים באשר לאפשרויות השדרוג למאיצים שיעבדו בארכי גל קצרים יותר. למרות שהפוטו-מזרק משמש כרכיב התחלתי במתקנים בעלי אנרגיה גבוהה בהרבה, המגמה כיום היא להשתמש במזרק על-מוליך, שהוא מתקן יקר הרבה יותר. המזרק הנוכחי יהיה בכל מקרה רק שלב התחלתי, ועיקר העלות תהיה בפיתוח ובניית המאיץ, שהוא מסובך ויקר יותר ככל שהאנרגיה עולה ואורך הגל יורד.

כל השופטים מסכימים שהתקציב המבוקש סביר ואפילו צנוע מדי. רק שופט ב' נכנס לפוטו-מה של פרטי התקציב השונים. השאר מסתפקים במשפט קצר. ואולם, כולם מציינים שאינם בקיאים במקובל בתקצוב בישראל, והם מבססים את הערכותיהם על המקובל בארה"ב או אירופה.

מספר נקודות נוספות עליהן מעירים השופטים:

- פרופ' אבי גובר מוכר היטיב, ומוערך ביותר ברמה העולמית לאור תרומותיו התיאורטיות. לפחות אחד מהשופטים מטיל ספק בכישורים הניסויים של המציעים "להרים" את הפרויקט המוצע.
- שופט ה' מעיר כי ההצעה אינה מפרטת מה יהיה יתרון המאיץ המוצע על פני ה-FEL האלקטרוסטטי הקיים במרכז עבור המשתמשים.
- שופט א' (וכן גם שופט ב' במידת-מה) מעיר כי ההספק הממוצע של המתקן יהיה עשרות מילי-וואטים בלבד, בהשוואה ל-20 וואט במתקן שבJefferson Labs, ו-400 וואט במתקן שבנובוסיברסק. ואולם הוא עדיין עדיף על פני המקורות האלטרנטיביים, שהם מקורות שולחניים בתחום המיקרו-וואטים.
- כל השופטים מברכים מאד על שיתוף הפעולה עם UCLA. גם שליחת חוקר צעיר ללמוד את הנושא בקבוצה זו מתקבל בברכה. יחד עם זאת הם מטילים ספק הצעה להטיל את עיקר כובד משקל הפעילות הניסויית על כתפיו של חוקר צעיר בתחילת דרכו, אף אם מוכשר.

לסיכום, אין הבעת תמיכה חד משמעית של השופטים בפרויקט. הנטייה היא יותר לראות אילו יתרונות ישירים (מחקר) ועקיפים (הוראה, שימור ידע), ניתן יהיה להפיק מן המתקן אם יוקם, ולהאיר על מהמורות אפשריות כדי להימנע מהן. בנוסף, מדברי השופטים נראה כי הם תומכים בהכנסת נושא המאיצים ופיתוחו בישראל, אף שאין אמירה מפורשת שתומכת בכניסת ישראל לתחום.

4.2 ההיבט התעשייתי

לייזרי אלקטרוניים חופשיים-FEL הגיעו כיום לדרגת פיתוח המאפשרת להשתמש בהם לצרכים ביטחוניים ותעשייתיים. תכונותיהם של לייזרים אלה, המאפשרות יצירת אורכי גל רצויים, איכות אלומה מעולה ועצמה גבוהה מאפשרים עקרונית שימושים חדשים בעיבוד, חיתוך, טיפול תרמי וחיבור חמרים, וכן שימושים נוספים בעזרת חדירותה של קרינתם. אופי הפיתוח התעשייתי הוא כזה המתבסס על תשתיות קיימות, כגון זו המוצעת במקרה זה, כדי לבחון בחינה ראשונית והיתכנות לתהליכים, כאשר לאחר סיומו של שלב זה נבנים מקורות אור ומערכות ייעודיות הנמצאות בתעשייה. על כן תשמש המערכת המוצעת כמקום ניסויים לתעשייה, כולל המתקן עצמו והידע המקומי המצוי במרכז.

בנוסף, קיימת בארץ תעשייה מפותחת, מהמובילות בעולם, בתחום האלקטרואופטיקה. מקור לקרינת THz ומרכז התומך בפעילות בתחום זה ישתלבו היטיב בתעשייה זו ויאפשרו הפריה הדדית של שני התחומים מן הבחינה התעשייתית. מנספח ג' עולה כי מספר תעשיות וחברות הזנק השתמשו במרכז הקיים למדידות, אף כי השימוש נעשה לא מקור ה-FEL האלקטרוסטטי אלא במקורות שולחניים בהספק נמוך.

בתעשיות הגדולות יותר, כגון רפ"ל, והתעשייה האווירית, ואף בתעשיות ההי-טק אין תכניות מיידיות לשימוש במקור המוצע, ככל שהצלחנו לברר. ואולם מהסיבות המנויות לעיל רואות כל החברות בהן נועצנו בחיוב רב המצאות מתקן כזה, ומרכז מידע בנושא. בנוסף תעמיד קבוצה זו תלמידים בעלי ניסיון באופטיקת יונים ואלקטרונים, מערכות האצה, מקורות יונים ואלקטרונים ומערכות ואקום, ותסתום בכך פרצה טכנולוגית במסלולי ההכשרה. התעשייה זקוקה לבוגרים במקצועות אלה, ואין מקום אחר להכשירם בארץ.

4.3 הריבט הביטחוני

4.3.1 מערכות נשק מבוססות על אנרגיית לייזר רב עוצמה – רקע

העיקרון הפיסיקלי שבבסיס פעולת הלייזר כהתקן המייצר קרן אנרגיה אלקטרו מגנטית קוהרנטית, נוסח ע"י Schawlow-Townes בשנות ה-50 של המאה הקודמת. בעבור הישג זה הוענק להם פרס נובל. המימוש הניסיוני של התקן לייזר פולט אור בתחום האופטי הודגם ע"י Theodore Maiman בשנת 1960. תוך מספר שנים מועט התפתח הלייזר בכיוונים רבים ומגוונים: הודגמו יכולות לזירה בתחום רחב של הספקטרום וכן הופגנה העלאה הדרגתית אך עקבית של האנרגיה הן לפולס לייזר בודד והן של ההספק הממוצע להתקנים הפועלים ברציפות או במטחי פולסים (bursts).

בטווח של פחות מעשור שנים להופעה המטאורית של הלייזר עלו רעיונות, להפעלתו כמקור אנרגיה רבת עוצמה ומכוונת, ואף בוצעו הדגמות ושימושים של לייזרים רציפים ולייזרים פועמים בפולסים בהספקים ממוצעים של קילוואטים בודדים. מאז ועד היום החזון של מערכות נשק המבוססות על אנרגיה מכוונת הוא משאת נפשם האולטימטיבית של בעלי העניין בפיתוח ושימוש של מערכות נשק מתקדמות. קרי: המדענים, המפתחים והמתכננים וכמובן גם קהילות המשתמשים מהמגזר הביטחוני. במקביל לפיתוח הצבאי מתבצע מאמץ מוצלח למדי להחדרת לייזרים רבי עוצמה גם לשימושים בתעשייה. עוד לפני כ-40 שנה הודגמו ביצועים של לייזרים רבי עוצמה באבי טיפוס ומדגימים טכנולוגיים שהראו כי ניתן להגיע להספקים מממוצעים של 10 קילוואט ויותר. במהלך השנים הומצא הלייזר הכימי המייצר תווך מתאים ללזירה עקב ריאקציות כימיות שבו הודגמו מטחי פולסים של 2 מגוואט. התפתחויות מאוחרות יותר בתחום התקני מצב מוצק אלקטרו-אופטיים מראים כי גם בטכניקה זו ניתן להגיע לעשרות קילוואטים ביעילות של 20% ויותר.

האפשרות להעביר אנרגיה במהירות האור, בקצב גבוה, בעלות שולית של נמוכה ולטווחים של עשרות קילומטרים באטמוספירה ומאות קילומטרים בחלל הייתה ועודנה אטרקטיבית ביותר והניעה לאורך השנים, השקעות נכבדות שנועדו לממש מדגימי טכנולוגיה ומערכות נשק בכיוון מבטיח זה.

4.3.2 מקומו של נשק מבוסס אנרגיה מכוונת בשדה הקרב

עם ההכרזה על יוזמת ההגנה האסטרטגית של ממשלת ארה"ב ע"י הנשיא רייגן בשנת 1983 הוגדלו בהדרגה התקציבים הייעודיים למערכות הדגמה של לייזרים חזקים וחלה התקדמות ברמת הטכנולוגיה. למעשה מאז ועד היום קיים בארה"ב מאמץ שיטתי ומתמשך לפיתוח נשק לייזר רב הספק מוטס והדגמת יכולתו לפגיעה בטילים בליסטיים ובאיומים אחרים המציבים אתגר ליירוט מהיר ובמחיר מתקבל על הדעת. להלן מספר ציוני דרך מהשנים האחרונות:

הקצב האיטי יחסית של התפתחות הלייזר והפיכתו למערכת נשק מבצעית בתחומי האנרגיות הממוצעות הגבוהות (1 קילוואט ויותר). נובע מכמה סיבות:

- מגבלות קשות על התקדמות השדה הא"מ בתווך הלזירה, שהוא לרוב מוצק נוזל או גז, באלמנטים האופטיים ובאטמוספירה. עקב חימום מקומי מאד גבוה, בליעת אנרגיה שירית וצורך בסילוק חום מהיר מאלמנטים שונים שהנפח שלהם הוא קטן.
- התברר כי מערכות לייזר על מתקני השירות והאספקה הנלוות אליהם וחיוניות להפעלתם, הן מאד כבדות וגדולות וההנדסה לארוז אותם בצורה ישימה לשימושים צבאיים היא מאד יקרה ומתממשת על פני לוחות זמנים ארוכים.
- הצרכים המבצעיים הייעודיים מבשילים להיות מערכות נשק בקצב איטי וההכרה בנחיצותם וחידרתם לקונצנזוס של הממסדים הביטחוניים גם היא תמיד איטית ביחס לציפיות. באופן מעשי קשה לגייס משאבים וכוח אדם למאמץ ממוקד שיביא למערכת מבצעית בתוך זמן קצר.

4.3.3 הניסיון הישראלי - פרויקט נאוטילוס

בשנים האחרונות מתברר כי ישראל נתונה לאיום של מערכות רקטות וטילים תלולות מסלול העלול לפגוע באוכלוסיות אזרחיות ובמתקני הצבא במרבית אזורי המדינה. משרד הביטחון על זרועותיו השונות ובמיוחד באמצעות מפא"ת פעל ובשיתוף עם ארה"ב לבדיקה יסודית יותר של מערכת נשק אנרגיה מכוונת ליירוט רקטות - נאוטילוס. בשנים 2001-2004 נערכה בחינה יסודית של מערכת נאוטילוס - מערכת המבוססת על לייזר כימי של דאוטריום פלואוריד הנוצר במצב מעורר כתוצאה מריאקציה כימית. המערכת פועלת בהספק רציף של שני מגה-וואט במטח של 70 שניות בתחום התת-אדום. (4 מיקרון) כמדגים טכנולוגי סטאטי. הניסוי בכללו היה מוצלח והופגנו כמה עשרות ניסויים בהם יורטו בהצלחה רקטות מטיפוס קטיושה. מסיבות שונות הגיעו הגורמים המחליטים למסקנה כי למרות ההישגים הראשונים, יש לחפש פתרונות חליפיים ונדרשת הבשלה נוספת של תהליך הפיתוח ובצידה השקעת משאבים נוספים. מערכות ההגנה שהוחלט על פיתוחם והצבתם במהירות במיוחד מול האיומים קצרי הטווח עדיין מבוססות על נשק טילי.

החשיבות בניסוי זה היא בעצם ההדגמה כי מערכות של אנרגיה לייזר מכוונת הוכיחו יכולת ליירוט איומים בטווחים של כ-10 קילומטר.

התגברות האיומים של מערכות נשק בליסטיות וההצטיידות הגוברת של אויבי מדינת ישראל הן מצפון והן מדרום וכן ממעגלי איום רחוקים יותר מתזקת את הדעה כי בטווח הבינוני והרחוק יש צורך בפיתוח אמצעים נוספים. בהקשר זה יש לעשות מאמץ ולקדם ולהרחיב את הבסיס הטכנולוגי של הלייזרים רבי ההספק בכדי להתמודד עם איומים עכשוויים ועתידיים. אין להתפלא על העניין המתמשך של גורמי הביטחון להשקיע בנשק אנרגיה מכוונת במספר טכנולוגיות מבטיחות ובתחומי הספקטרום הרלבנטיים, מגלים מילימטריים ועד האינפרא אדום והאור הנראה, ולקדם את הבשלתו המהירה כמרכיב במערכות ההגנה כנגד מגוון האיומים שבזירה.

לסיכום: נשק מבוסס על אנרגיה מכוונת מגלם בתוכו יכולת התמודדות עם מגוון האיומים הצפויים בזירה. הוא בעל יכולת לטיפול כמעט סימולטני עם מספר איומים רב ומחיר העלות השולית להשמדת מטרה בודדת הוא נמוך.

4.3.4 סוגי טכנולוגיות ליצירת אנרגיה לייזר מכוונת ומידת בשלתם ליישום במערכות

לייזרי מצב מוצק ולייזרי סיבים הודגמו בהספקים של עד כ 10 קילוואט והגבול הסופי איננו ידוע אך קרוב לוודאי כי ניתן יהיה להגיע לעצמות של כ 100 קילוואט. אלא שפערי הידע והעלויות עדיין גבוהים. בטכנולוגיה הקיימת היום בגבול הידע ניתן לפתח מערכות מודולאריות עם הספקים של עד 100 קילו-וואט, ביעילות של כ-20%.

לייזרים כימיים כמדגימים טכנולוגיים קיימים כבר כמה עשרות שנים ואף היה ניסוי ראשון להדגים את יעילותם כנגד איומים שונים בארץ ובארה"ב "פרויקט Nautilus" שאוזכר לפני כן. המערכת המתקדמת ביותר היום כמדגימת נשק המבוססת אף היא על לייזר כימי היא מערכת ה- ABL (Air Borne Laser). מערכת זאת מבוססת על לייזר כימי של יוד וחמצן. המערכת הותקנה על מטוס בואינג F747-400 במטרה להוכיח יירוט טילים בליסטיים בשלב ההאצה הראשוני ממרחקים של כ-100 קילומטר. המערכת הוכיחה יכולת לציין מטרות בתנאים ריאליים והשנה הודגמה בהצלחה יכולת יירוט ממשית כנגד מדמה טיל בליסטי טקטי.

לייזר של אלקטרוניס חופשיים לייזר זה הוא בבסיס ההצעה הנוכחית לתל"מ מציג שני יתרונות חשובים:

- ניתן לכוונן את אורך הגל בלי לפגוע ביעילות ההמרה של האנרגיה החשמלית לאנרגית קרן. זה מאפשר גם למכסם את יעילות המעבר האטמוספרי ע"י בחירה אופטימאלית של אורך הגל.
 - תווד הלזירה הוא "ריק" ולכן ניתן לקבל עקרונית איכות קרן טובה החיונית למעבר אטמוספרי, גם בעוצמות גבוהות.
- עדיין קיים אתגר בהפיכת היתרונות הפוטנציאליים האלה של לייזר האלקטרוניס החופשיים להתקנים הפועלים באופן מעשי.

אחד היישומים הראשונים הנבחנים בארה"ב הוא במדגים הנבנה במעבדת תומס ג'פרסון כאשר חוזה הפיתוח הנוכחי הוא למדגים של 100 קילוואט ומיועד להגנת ספינה. האיומים הבולטים בזירה הימית שאין להם כרגע מענים טובים חלופיים הם תקיפה ע"י טילי שיוט (על קוליים) וכן ע"י מל"טים. (בשלב הנוכחי טכנולוגית הלייזר איננה ממוזערת דייה והיישום מתאים לתרחישים בהם אפשר להעמיד מערכת ניחת או מערכת נישאת על פלטפורמה ימית כבדה. טכנולוגיות הבסיס החיוניות לשליטה בהתקן הם מאיצי אלקטרוניס על בסיס מהודים על-מוליכים ושימוש בעקרון מחזור האנרגיה בכדי לקבל נצילות מספיק גבוהה ולהגביר את אפקטיביות המערכת. במבחן המעשי.

לגבי השימוש בלייזרים רבי עצמה ניתן לסכם כדלקמן:

קיימות מספר טכנולוגיות שביישומן הנכון ניתן להגיע להספקים גבוהים המתאימים לשימושי יירוט מגוונים. חלק מעקרונות הפעולה ייושמו במדגמי טכנולוגיות שהראו כי אכן יש הוכחת קיום ליירוט איומים שונים החל מפגזים ורקטות בטווחים קצרים ועד טילים בליסטיים במתארים שונים. בשלב הזה טרם התבררה עדיפות בולטת של טכנולוגיה ספציפית ביחס לאחרות. לאור הפוטנציאל הכללי המאוד מבטיח של נשק מבוסס על אנרגית לייזר מוכוונת, יש הגיון רב בקידום של מכלול הטכנולוגיות. ויש לעשות זאת בצורה מידתית ובהתאם לשיקולי הגופים המקצועיים העוסקים בנושא.

4.3.5 שימושים צבאיים נוספים ללייזר אלקטרוניס חופשיים

נתייחס בקצרה גם לפן הנוסף של שימושי לייזר לאלקטרוניס חופשיים באנרגיות נמוכות יותר.

ההתפתחות תחום האלקטרו – אופטיקה הביא לצמיחת מספר תחומים בהם פותחו מערכות נשק ותתי מערכות עם תרומות איכותיות ביותר לשדה הקרב המודרני.

- חיישנים
- מערכות לזירה
- מדי טווח
- מציינים
- מכ"מי לייזר
- מערכות תקשורת
- ועוד

תחום האלקטרו-אופטיקה תופס כבר שנים רבות מקום נכבד במארג הטכנולוגי שת תעשיות הידע וחלק החברות הישראליות הפעילות בתחום הביטחוני קנו לעצמן מקום כמהמובילות בתחום הצבאי בעולם, וזאת בנוסף לאספקת מערכות ייחודיות לצה"ל ולמערכת הביטחון.

הלייזר של אלקטרוניס חופשיים מאפשר יכולת לממש ברציפות תחומים רחבים של הספקטרום בהם אין הרבה מקורות קרינה וגם אלה שקיימים לא תמיד ניתנים לכוונון וגם כאשר נתן לקבלן בשיטות אלקטרואופטיות יעילות המרת התדר איננה גבוהה.

תחום ספקטראלי מעורר עניין בנושא הוא תחום הטרחה הרץ. תחום זה הנמצא בין התת אדום הרחוק ותחום הגמ"מ (גלים מילימטריים) וכולל רוחב ספקטראלי שיכול להוות בסיס לפיתוחים חדשניים ובכלל זה גם בתחום הצבאי. למשל בתחומים הקשורים בחישה מרחוק, שימושי ביטחון פנים מתוחכמים, גילוי הסלקת אמצעי לחימה על בני אדם ותפצים, גילוי ספציפי של חמרים שונים ובדיקות ללא הרס.

אמנם קיימות דרכים לקבל התקנים פולטי קרינה קוהרנטית לתחום הטרה הרץ בשיטות שונות, אולם אין ספק כי מתקן מרכזי עם תדר מתכוון, הפועל בעיליות גבוהה, עשוי לתת תנופה חזקה למפתחים שונים במימוש יישומים חדשים וחשובים בתחום הביטחון ולתת להם מקום מיומן לניסויי היתכנות ראשוניים. הנחת המוצא כי הנהלת האוניברסיטה תיערך למתן השירותים הנדרשים למשתמשים פוטנציאליים תוך שמירה על זמינות רבה גישה נוחה ועלויות סבירות. הרחבה בנושא זה תהיה בפרק המסקנות להלן.

4.4 ההיבט התקציבי

התקציב המבוקש כולל התייחסות לשישה אלמנטים (א) הקנייה והפיתוח של המתקן בארה"ב, כולל עלות הציוד הנלווה (אלקטרוניקה, ואקום, קירור, תוכנות סימולציה ועוד) (ב) הובלה והרכבה (ג) כוח אדם טכני ומדעי ל-5 שנים (ד) עלות המבנה בו יוצב המאיץ (ה) תפעול ופיתוח ל-5 שנים (ו) תקורה.

נציין שהתקציב המבוקש לוקה באי התאמות חשבונאיות (סכומים בתת-סעיפים אינם מסתכמים לסך-הכל של הסעיף), באי התאמה בין הנוסח העברי אשר הוגשה לתל"ם ובין הנוסח האנגלית שהוכנה לבקשת הוועדה ונשלחה לשופטים החיצוניים, ובין שתי הגרסאות הללו להבהרות והפירוט הרצ"ב כנספחים ז'-ח'.

רכש- הפוטו אינג'קטור

סעיף זה כבר סוכם בין נציגי מערכת הביטחון ובין אוניברסיטת קליפורניה. בהצעה מופיע סכום של 1.35 מיליון דולר אשר מיועד לרכישת ה- RF GUN. פירוט התשלומים שנכללים בסכום זה מופיע בנספח ז'.

היות וסכום זה שולם כבר על ידי מפא"ת אין הוועדה רואה טעם להתייחס לפרטיו. נציין רק כי כ-30% מן הסכום נועד לתשלום משכורות לאנשים שונים, ביניהם סכום של כ-\$75,000 למשך שנתיים כעלות מלגת פוסט דוקטורט ליגור דינן. לשם השוואה: "יד הנדיב" מעניקה מדי שנה 12 מלגות להשתלמות פוסט-דוקטורט בחו"ל על בסיס תחרות עזה ביותר. הזוכים מקבלים מלגה לשנה אחת בלבד בסכום של \$40,000 (עם תוספות של \$3500 לאשה ו-\$5000 לילד).

בגרסה האנגלית הופיע בסעיף הרכש סכום נוסף בעבור הוויגלר של 0.35 מיליון דולר. סעיף זה חסר בהצעה המקורית, בעברית, ואינו מתאים לסיכומים בשתי הגרסאות. בפירוט שנשלח תוך כדי כתיבת דו"ח זה ע"י המציעים (נספח ח') הוויגלר אכן מופיע. עלותו ירדה לסכום של \$42,500 אך מבוקש סכום של \$200,000 אשר בו נכללים עתה גם מהוד ומערכת של אופטיקת אלקטרונים. סיכום מחירי פריטים אלו הוא \$239,000.

רכש-מערכות הפעלה נלוות: מיקרו גל למאיץ, מערכות קירור, תותח אלקטרוני תרמוני, מערכות ואקום, מערכות אלקטרון אופטיות, דיאגנוסטיקה ותכנות סימולציה. לאור דרישת הוועדה הועבר בשבוע האחרון פירוט של הרכיבים בסעיף זה. מן הפירוט עולה כי אלו חלפים, תשלומים כפולים, שדרוגים, וכ"ו עבור רכיבים הכלולים כבר בסעיף הרכש של הפוטו-אינג'קטור, ומסופקים כחלק מהמכלול. מבוקשים גם שני סקופים דיגיטליים, שהם מכשירי מדידה סטנדרטיים ואינם חלק אינטגרלי מן המערכת הנוכחית.

הובלה והרכבה: מבוקש סכום של 300 אלף דולר לצורך הובלה והרכבה. חברי הוועדה מוצאים את הסכום כבלתי ריאלי להובלת 1/4 מכולה מארה"ב והצבת המתקן. בפירוט שנשלח השבוע (נספח ח') מופיעים בסעיף זה מספר פריטים חדשים (מערכת מיזוג, קירור מים, לחץ אויר) ו-transition line. תמחור הפריט האחרון נראה מוגזם במיוחד. לא ברור באיזה כ"א מדובר ומהם ה"שונות" עבורם מבוקש סכום של \$70,000.

כוח אדם טכני ומדעי ל-5 שנים: מבוקשות 3.5 שנות אדם בעלות כוללת של 240 אלף דולר לשנה. סה"כ עלות 1.2 מיליון דולר בחמש שנים.

הוועדה סבורה שכוח האדם הטכני (מהנדס מערכת, טכנאי – ע' למהנדס המערכת וחצי משרה של מהנדס אלקטרוניקה) גבוה מעט וניתן להפחית חצי תקן טכנאי. כל זאת, כאשר המתקן עומד ומוכן להפעלה. עלויות המשרות נבדקו מול עלויות של דירוגי הסגלים הרלוונטיים במוסדות מחקר אחרים ונמצאו נמוכות ב- 10%-20% מהנהוג באותם מוסדות. (הנושא נבדק בעזרת מר אמיר גת מות"ת ועל כך נתונה לו תודתנו).

גם אם העסקת כוח האדם נחוצה עדיין ישנה השאלה מי ראוי שיממן את ההוצאה. התייחסות לשאלה תופיע בפרק "המלצות הוועדה".

בינוי

בבקשה מבוקש סכום של 300 אלף דולר וזאת ללא כל פירוט. הוועדה אומדת את החלל הדרוש למתקן בלא יותר מאשר 100 מ"ר. לאחר קבלת מידע ממספר גורמים עלות של כ-2500\$ למ"ר נראית סבירה. עלות תכנון של 20,000\$ צריכה להספיק במבנה פשוט זה.

סה"כ ההמלצה לסעיף זה היא 270 אלף דולר.

אחזקת המערכת

בבקשה מופיע ללא כל פירוט נוסף – עלות אחזקת המאיץ – 60 אלף דולר לשנה ועלות פיתוח ושדרוג – 40 אלף דולר לשנה. גם בהקשר זה לא ברור מה היא עלות האחזקה בשנתיים הראשונות של מאיץ הנמצא בבניה בקליפורניה. חברי הוועדה מוצאים לנכון שהמימון יחול רק על הוצאות הפיתוח והשדרוג וזאת החל מאמצע השנה השלישית בלבד – הזמן בו המערכת תגיע לישראל – וזאת בהיקף של 40 אלף דולר בשנה.

תקורה: מבוקשת השתתפות של תל"ם בהיקף של 650 אלף דולר. הוועדה סבורה שאין מקום לתשלום תקורה במקרה זה.

הכנסות עצמיות: במרכז משתמשים כמבוקש ניתן היה לחשוב על מכירת שירותי מחקר לתעשייה כדרך לכיסוי חלק מההוצאות אולם לאור מיעוט המתעניינים התעשייתיים שנמצאו על ידינו לא ניתן להתייחס להכנסות עצמיות כמקור תקציבי לכיסוי ההוצאות. יחד עם זאת, אם יהיו הכנסות כאלו יש מקום לשקול החזרת חלק מהן לפחות לקופה הציבורית ע"י הקטנת תשלומי תל"מ, או בכל דרך אחרת.

5 סיכום והמלצות הוועדה

5.1 סיכום והערכה

מן השיפוט המדעי ע"י חמישה שופטים מן הצמרת האקדמית העולמית בשטח ההצעה לא התקבלה תמיכה החלטית בהקמת המתקן והמרכז המוצע. המתקן מיישם טכנולוגיה ותיקה בת למעלה משני עשורים. החידוש היחיד, ה"סופר-רדיאנס" הוא בשלב זה הצעה בלבד, שמידת ישימותה לא ברורה. גם אם ההבטחה תתממש, ההספק הממוצע של המתקן (מיליוואטים) נמוך בשלושה סדרי גודל ויותר ממתקני החזית העולמיים. השימושים המוצעים למתקן אינם נראים לשופטים ולחברי הוועדה חדשניים אלא לקוחים רובם ככולם מן המאגר המוצע זה שנים רבות בעולם וישימותם חלק ניכר מהם מוטלת בספק. הוועדה גם לא מצאה שנתגבשה קבוצה, ולו גם קטנה, של משתמשים אקדמיים מחוץ לקבוצה המציעה סביב מתקן ה-FEL האלקטרוסטטי אשר המרכז מפעיל זה עשר שנים. לאור הנקודות דלעיל, ובהעדר קבוצת משתמשים רחבה או דרישה ולחץ "מלמטה" לשימוש בקרינת THz (למשל: מקבוצות חוקרים המשתמשת במקורות קרינה קיימים בחו"ל בשטח זה) נראה לוועדה שאין הצדקה מן ההיבט האקדמי למימון המתקן כמתקן תשתית לאומי, אשר תפקידו לשרת ציבור חוקרים גדול ממוסדות אקדמיים רבים.

מן ההיבט התעשייתי קיים עניין מסוים בפרויקט המוצע, אף שעיקרו אינו השימוש במתקן עצמו, אלא תוצאת הלוואי המרכזית של קיום המרכז והמתקן: הכנת כוח אדם בעל הכשרה אקדמית וטכנית. בשטחי ההאצה, אופטיקת אלקטרונים, ואקום, לייזרים וכו' לתעשייה. כוח אדם כזה חסר ביותר בארץ כיום. התעשייה גם רואה בתחום ה-THz תחום משלים לתעשיית האלקטרו-אופטיקה המפותחת מאד בארץ, אף כי נראה שאין תכניות ספציפיות לפתוח בתחום זה.

מן ההיבט הביטחוני קיים עניין רב מאד במתקן ובמרכז המוצעים, לאור המספר הרב של השימושים הביטחוניים האפשריים המוצעים והמפורטים בפרק 4.3 לעיל. אף שמרבית השימושים העיקריים דורשים

עוצמות גבוהות בסדרי גודל רבים מאילו הניתנות להשגה במתקן המוצע, המתקן יעזור, לדעת מערכת הביטחון, לפתח ולבדוק הבנות ורעיונות חדשים בתחום הביטחוני.

החוקר העומד בראש הקבוצה, פרופ' אבי גובר הינו ללא ספק תיאורטיקן מוביל ברמה העולמית בשטח ה-FEL וקרינה אלקטרומגנטית ממאמצים. ואולם, יש לחזק את המנהיגות הניסויית ע"י גיוס ניסיונאי בכיר ברמה מקבילה לזה של פרופ' גובר שיוביל את פיתוח והקמת המתקן המוצע, ובעיקר יפתח ויגבש קהיליית משתמשים אקדמית במתקן ובמרכז.

פרק התקציב בהצעה לוקה באי-דיוקים וחסר פירוט. הפריטים בתתי הסעיפים אינם מסתכמים לתקציב הכולל של הסעיף, לא כל הפריטים הרשומים בנוסח העברי, האנגלי, ובמסמך ההבהרה בנספח ח', זהים. מספר סעיפי מימון אינם מקובלים על הוועדה, ואפשר שמספר סעיפים חורגים מן המקובל למימון ע"י תל"מ. הפירוט שנשלח לדרישת הוועדה כולל פריטים חדשים שלא נכללו בהצעה המקורית, או בתרגומה לאנגלית. סכום ניכר נדרש למימון "מערכות נלוות" שהתבררו בפירוט כחלפים ושדרוגים, דבר שלא צוין בהצעה המקורית.

לבסוף, התמיכה מבוקשת מתל"מ לתקופה של חמש שנים. ברור למדי כי מטרות המרכז לא יושגו ופיתוח המתקן לא יסתיים בפרק זמן זה, אלא שניהם עניינים מתמשכים, בעיקר אם, כמקווה, תפתח משך זמן זה קהילייה של משתמשים ישראלים באקדמיה, בתעשייה, ובמערכת הביטחון. חסר בהצעה דיון בשאלת המשך מימון המרכז והמתקן לאחר סיומן של חמש שנים אלו. נקודות אלו ואחרות הכרוכות בהן דורשות התייחסות מפורטת מצד המציעים, ואינן מופיעות בהצעה.

5.2 המלצות

הוועדה מצאה עצמה סמוך מאוד לתחילת עבודתה במצב מביך, שהלך והתגבר עם חלוף הזמן. מצד אחד התבקשה הוועדה לשפוט את ההצעה ולהמליץ על קבלתה, דחייתה, או מצבי ביניים בין שתי קצוות אלו. מצד שני התברר לוועדה כי מפא"ת כבר הקציב לפרויקט סכום ניכר לרכש, ואולי אף הקצבה נוספת של \$100,000 לשנה, שפרטיה אינם נהירים לוועדה, וכן כי המו"מ עם UCLA לקניית המתקן קרוב להשלמה, או אף הושלם. דבר זה מייתר במידה לא מבוטלת את תפקיד הוועדה, ואת המאמץ והעבודה הרבים שהושקעו על ידה בהערכת ההצעה.

יתרה מזו, קניית המתקן תוך כדי עבודת הוועדה יצרה תנאי סף חדשים שלא ניתן להתעלם מהם בהמלצות הוועדה לתל"מ. מה טעם יש, למשל, בהמלצה-שלאחר-מעשה לקנות מתקן, או רכיב, אחרים מאלו שכבר סוכם עליהם עם המוכרים, או שלא לקנותם כלל ?

היות שההמלצה שלא לממן את ההצעה כלל, לממן מתקן אחר, או לממן רכיבים שונים מאלו שכבר נקנו אינה מעשית לאור היותה של קניית המתקן מעשה מוגמר, הוועדה מקבלת, לטוב ולרע, את עובדת המצאות המתקן כתנאי התחלה להמלצותיה.

5.2.1 מימון

בתנאים אלו, ולאור העובדה שמההיבטים הביטחוניים והתעשייתיים יש עניין בנושא, אף כי מההיבט המדעי אין הצדקה למתקן כמתקן לאומי, הוועדה ממליצה על מימון מצומצם לפרויקט על פי הפירוט והתנאים הבאים (על פי סדר הנושאים בפרק התקציב של ההצעה המקורית):

(א) רכש: היות ורכישת הפוטו-איגיקטור כבר נעשתה, אין טעם להמלצה כלשהי הנוגעת לסכום של \$1.35M ששולמו ע"י מפא"ת. הוועדה אינה ממליצה לממן את ה"מערכות הנלוות" (\$0.5M). מומלץ לממן את רכיבי הוויגלר והמהוד, המופיעים לראשונה בנספח ח', בסכום של עד \$160,000.

(ב) שינוע והרכבה: בהתייחס לפירוט בנספח ח' ממליצה הוועדה שלא לממן את סעיף ה"שונות". בתלק מן הסעיפים האחרים, במיוחד סעיף 1, הסכום המבוקש מוגזם. מומלץ לממן את סעיף ה"שינוע והרכבה" בסכום של עד \$120,000.

(ג) בינוני: המאיץ המוצע, כולל הפוטו-מזרק, הקלייסטרון, הלייזר ותוספת שלבי ההאצה העתידיים דורשים שטח רצפה שאינו עולה על 100 מ"ר. לאחר בדיקת עלות ממוצעת של בנית בנין מעבדות (כ-\$2500 למ"ר) הועדה ממליצה על סכום של \$270,000 לכל היותר לסעיף זה.

(ד) כ"א: אם מימון כ"א אינו חורג ממדיניות תל"מ הועדה ממליצה כי תל"מ יממן את כוח האדם הטכני בלבד, בהיקף של שני תקנים מלאים: מהנדס מערכות, חצי תקן טכנאי עוזר למהנדס, וחצי תקן מהנדס אלקטרוניקה, על פי העלויות המפורטות בהצעה, ובכפוף לתנאים הבאים:

1. המוסדות המציעים, אוני' ת"א והמרכז האוניברסיטאי אריאל, יממנו את שכרו של המדען המבוקש. מדען זה, רצוי מאד בכיר, יועסק במשרה מלאה ויקדיש את מלוא זמנו לניהול האקדמי של המרכז ופיתוחו (בעיקר לפיתוח התכנית המדעית), וטיפול וגיבוש קבוצת משתמשים אקדמית חיצונית לקבוצה המציעה.
2. המוסדות המציעים יתחייבו לממן את המדען ואת הצוות הטכני לאחר תום תקופת התמיכה של ות"ת לתקופה נוספת באורך שווה, על מנת להבטיח המשכיות ויציבות למרכז.
3. לאור העובדה שהפיתוח יעשה כולו ב-UCLA בשנתיים הראשונות והוא ממומן במלואו ע"י מפא"ת, הצוות הטכני באריאל ימומן רק החל מתחילת השנה השלישית ועד תום השנה החמישית, דהיינו משך שלוש שנים.

סך העלות השנתית של סעיף זה היא \$115,000 לשנה, כלומר סך כולל של \$345,000 לתקופה כוללת של 3 שנים.

יש לציין בהקשר זה כי ככל הידוע לוועדה בפרויקט "שרף" עלויות כוח האדם שעסק בהקמת המתקן ושהסתכמו בעשרה מיליון דולר במהלך השנים מומנו ע"י הועדה לאנרגיה אטומית ולא ע"י תל"מ. השלב המקביל לזה בהצעה שלפנינו, נעשה ב-UCLA, וכוח האדם נדרש עבור הפעלת המתקן לאחר הצבתו באריאל.

(ה) אחזקה ושדרוג המערכת: להבנת הועדה האחזקה המדוברת פירושה עלות החלפת הבלאי במתקן, תיקונים בו, וכו' ולא אחזקה המבנה, מיזוג האוויר, המים וכו' אשר חייבות לחול על המוסד המארת. לנושא לאחזקה מעין זו זה סכום מוערך של עד \$40,000 לשנה נראה סביר. השדרוג והפיתוח המוצעים אינם מפורטים. הועדה ממליצה שלא לממן חלק זה. האחזקה תמומן רק החל מתאריך הצבת המתקן באריאל, כלומר מתחילת השנה השלישית לפרויקט ועד תום השנה החמישית, בסך כולל של עד \$120,000. האחזקה תמומן רק לאותם רכיבים שלא יהיו תחת אחריות היצרן או הקבוצה בה פותח המכשיר.

(ו) תקורה: הועדה אינה מוצאת הצדקה לתשלום תקורה.

לסיכום: הסכום הכולל של התשלומים החד-פעמיים, מעבר לעלות הפוטו-איג'קטור, עליו ממליצה הועדה הוא \$550,000. הסכום הכולל של התשלומים הרב-שנתיים המומלצים שתחילתם בתחילת השנה השלישית לפרויקט וסיומם בסוף השנה החמישית, הוא \$465,000, אם תחליט תל"מ לממן את עלות כוח האדם הטכני. ללא מימון כ"א יכלול התשלום הרב שנתי את עלות האחזקה בלבד בסכום כולל של \$120,000. הועדה ממליצה על כן כי התמיכה כוללת לא תעלה על \$1,015,000 בתקופה המבוקשת של 5 שנים.

5.2.2 נוהלים

ראשי הפרויקט יציגו לתל"מ בתחילת כל שנה דו"ח שנתי קצר (בכתב ובע"פ) שיכלול תכנית עבודה לשנה הבאה, ומתחילת השנה השנייה גם את העבודה שנעשתה בשנה החולפת הן בפיתוח המכשיר והן בשימוש במתקן לצרכי מתקן אקדמי, תעשייתי וביטחוני, והשוואתה לתכנון בדיווח הקודם. הגשת הדיווח תהווה תנאי להעברת המימון לאותה שנה.

סמוך להצבת המתקן באריאל, תעבד מנהלת הפרויקט, ותציג לאישורה של תל"מ, נוהלים לשימוש במתקן ע"י משתמשים מחוץ לקבוצת המציעים, כולל הפצת קול-קורא, נוהלי שיפוט לבקשות לשימוש, תעריפי

שימוש, וחלוקת זמנים שנתית בין פיתוח המתקן והשימוש בו ע"י משתמשי-פנים (מצוות המתקן) ומשתמשי-חוץ (מי שאינם חברים בצוות המתקן).

6 תודות

הועדה מודה לכל אלו שעזרו בעבודתה: לשופטים שהקדישו מזמנם וממומחיותם לקריאת ההצעה ושיפוטה, ליועצי הוועדה בארץ ובחול, למציעים עצמם, שנענו בחיוב ובמהירות לבקשות הוועדה למידע נוסף, לסוכנות החלל הישראלית, שהעמידה משרדיה לרשות הוועדה, ולתל"מ, על גילוי אורך רוח וסבלנות לסיום עבודת הוועדה.