



# פליטת האור של פרובסקיט $CsPbBr_3$

חקר התכונות פולטות האור של ננו־חלקיקים של פרובסקיט ( $CsPbBr_3$ ) לאחר חילוף היונים בהם

מתחרים

איתן עמירן

ביה"ס

התיכון הישראלי

למדעים ואומנויות

מורה מלווה

ד"ר ישראל רפורט

מנחה

פרופ' ליעוז אתגר

וגב' טל בנימין

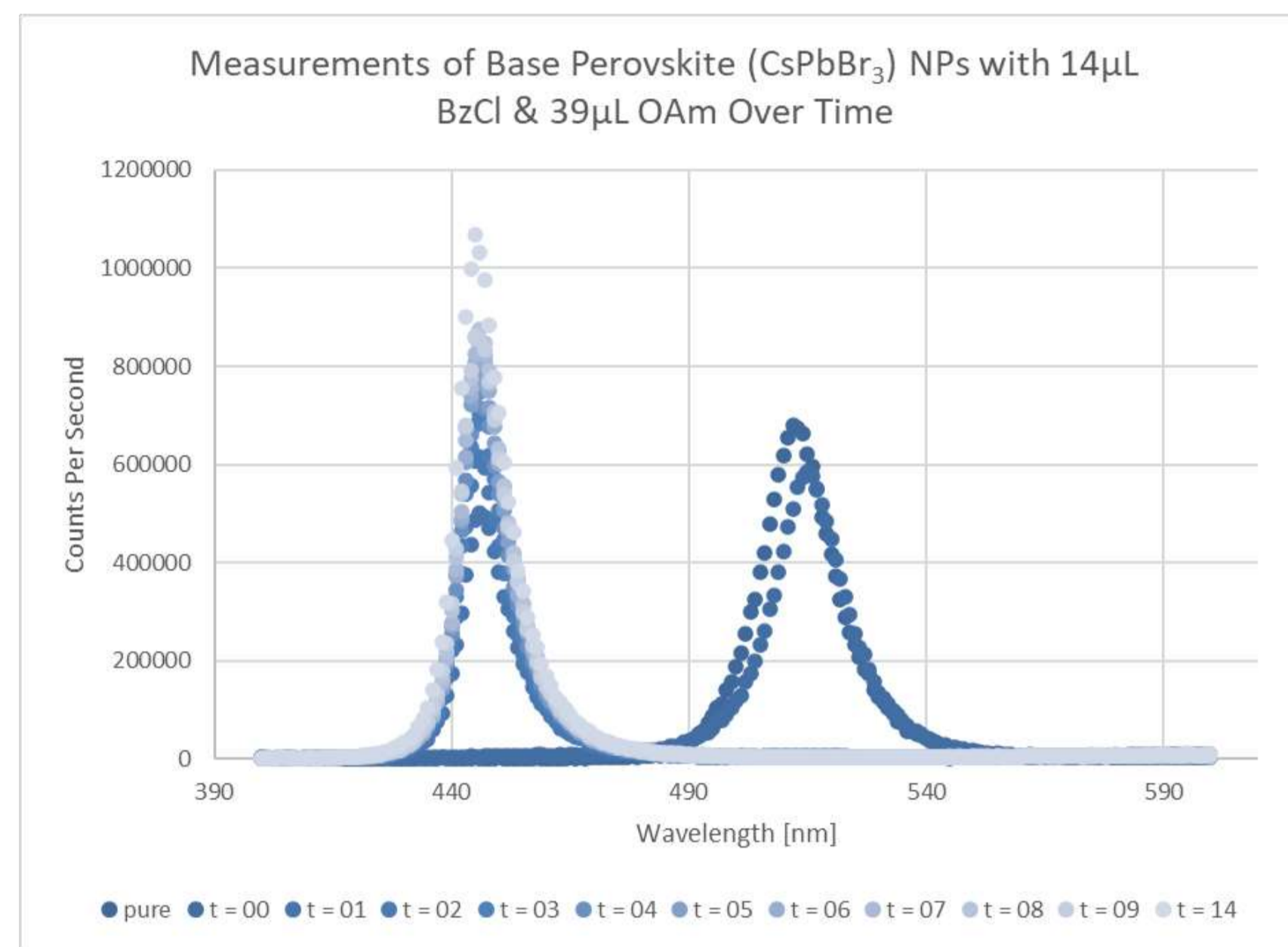
האוניברסיטה העברית

הנחיה מטעם

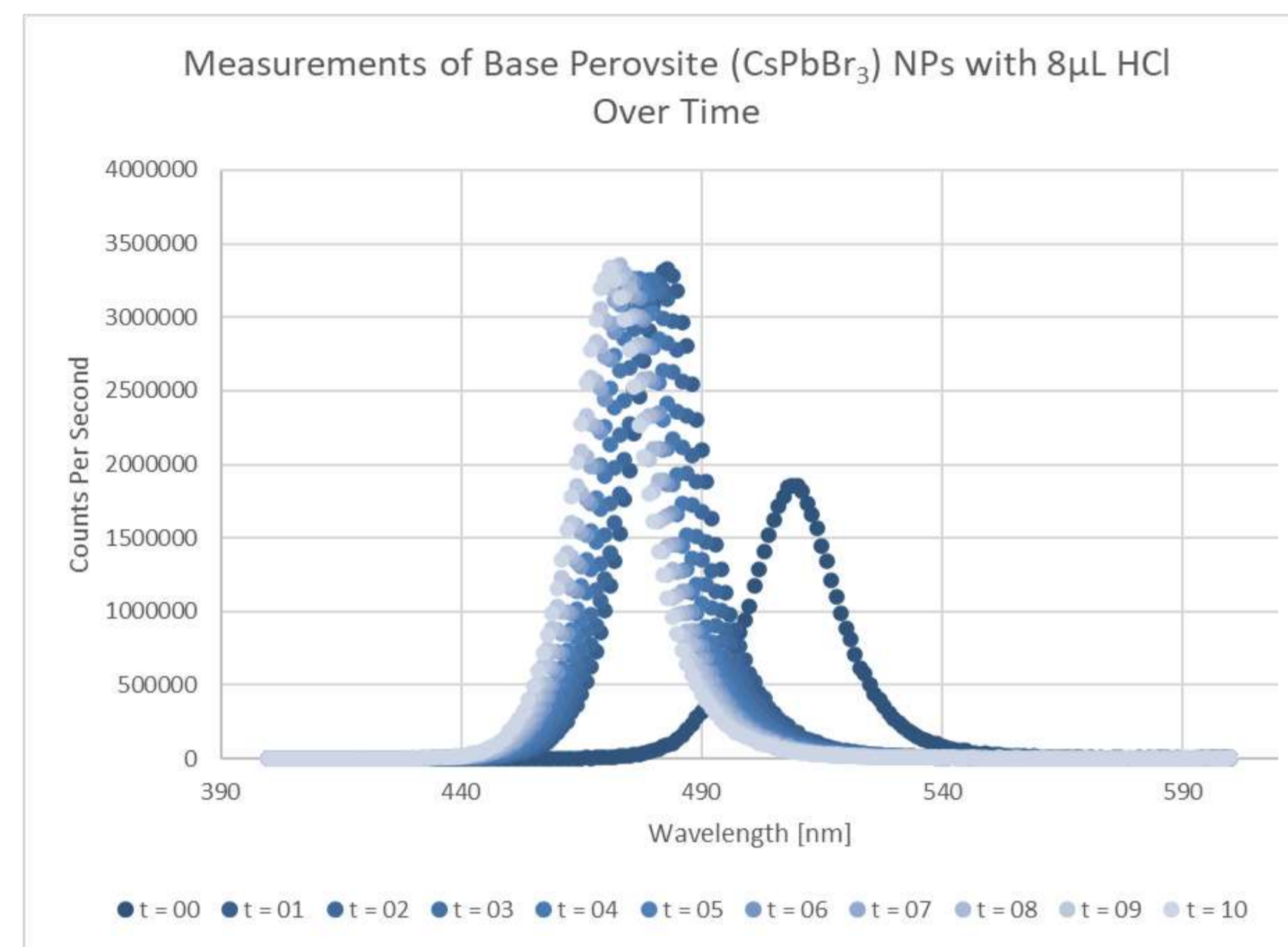
התחרות

מר אדר לוי

## תוצאות



איור 4



איור 3

הגרפים מציגים את השינוי בפליטת הפרובסקיט לאורך זמן. כל עקומה בגרף היא מדידה שונה, ובמקרא מצוין הזמן בו נלקחה המדידה, בדקות לאחר תחילת הניסוי. ניתן לראות את השינוי באורך גל הפליטה ובעוצמה.

**מימין:** (איור 3) ניסוי בו נוספה חומצה הידרוכלורית לננו־חלקיקים. לאורך זמן הניסוי עוצמת הפליטה עלתה כמעט פי שניים ואורך גל הפליטה נע לכיוון הכחול, בשלבים. ניתן להסיק כי חלק מיוני הברום בפרובסקיט הוחלפו ביוני כלור.

**משמאל:** (איור 4) ניסוי בו נוספו בנזואיל כלורי ואולאילאמין (אחד הליגנדות של הפרובסקיט) לננו־חלקיקים. באופן כמעט מיידי אורך גל הפליטה נע בחדות לעמדתו הסופית בכחול ועוצמת הפליטה עלתה פי אחד וחצי. התקבלה בניסוי זה אותה תוצאה באופן כללי, אך היא התקבלה במהירות רבה יותר ולכן לחלקיקים שנוצרו יש יציבות גבוהה יותר.

## מסקנות

- חילוף הלידים באמצעות חומצות מימניות אינו רצוי מאחר שלמרות שהתכונות האופטיות משתנות בצורה הרצויה, לאורך זמן המים הקוטביים שבחומצות מפרקים את ננו־חלקיקי הפרובסקיט; רואים זאת לפי החילוף האיטי, יחסית.
- חילוף הלידים באמצעות בנזואילים ובתוספת הליגנדות של הננו־חלקיקים – שמסיעות לשחרר את ההליד – עובד היטב: החלקיקים פלטו בעוצמה ובאורך גל הרצויים, ועברו את השינוי בזמן קצר.
- בחילוף הלידים בין פרובסקיטים שונים יכול להיווצר שילוב מאוד יציב (הפולט בעוצמה חזקה בצבע הרצוי), אך גם שילוב מאוד לא יציב (הפולט בעוצמה חלשה בצבע הרצוי); יציבות השילוב תלויה בשני הפרובסקיטים המקוריים.
- קשה מאוד להחליף את הקטיונים בפרובסקיט, אך רובידיום עם חומצה אולאית נמצא כחומר המיטבי לביצוע חילוף קטיונים בננו־חלקיקי הפרובסקיט, מבחינת יציבות ויעילות החלפה.

## חדשנות

המחקר שבוצע נותן זווית ראייה חדשה על חילוף קטיונים בננו־חלקיקי פרובסקיט ומקדם את המחקר העולמי לכיוון תאים סולריים ונורות LED יעילות. נמצאו ממצאים רבים על חילוף ההלידים בפרובסקיט אשר מחזקים מחקרים קיימים והרבה ממצאים חדשים על חילוף קטיונים.

## מטרות המחקר

אחת ממטרות המחקר היא מציאת הדרך היעילה ביותר להחלפת היונים בפרובסקיט תוך הגעה לתכונות האופטיות הרצויות – פליטת אור באורך גל ספציפי; ומכך להסיק האם יעיל יותר לבצע חילוף או שמא ליצר מראש את ננו־חלקיקי הפרובסקיט עם התכונות הרצויות.

מטרה נוספת היא גילויים נוספים בדבר יציבות חלקיקי הפרובסקיט והתרמודינמיקה שלהם על ידי מעקב אחר תהליכי החילוף והזמן הדרוש לכל תהליך. זאת יתבצע באמצעות מעקב אחר עוצמת הפליטה של החלקיקים על ידה ניתן לקבוע האם החילוף מפיק ננו־חלקיקים יציבים אשר אינם מתפרקים.

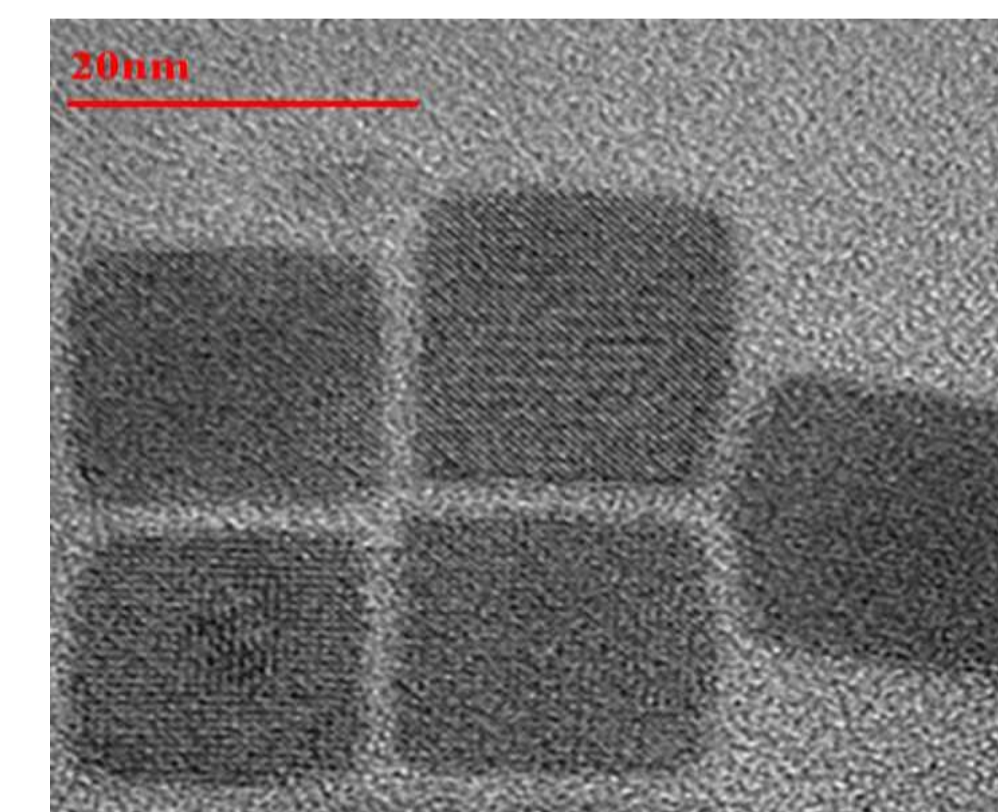
## מהלך המחקר

### חילוף היונים בפרובסקיט

בכל ניסוי נלקחה קיוטה המכילה 100 מק"ל ננו־חלקיקי  $CsPbBr_3$  בתמיסה של 3 מ"ל טולואן ונוספו לה תמיסות אחרות בכדי לנסות לגרום לשינוי בפליטה של הפרובסקיט על ידי החלפה של היונים המרכיבים את הסריג הפרובסקיטי (איור 1).

### מדידת פליטת התמיסה

השינוי בפליטה נמדד באמצעות פלורומטר וחלק מן הדוגמאות נסרקו במיקרוסקופ אלקטרוני (איור 2).



איור 2: תצלום של ננו־חלקיקי  $CsPbBr_3$  תחת מיקרוסקופ אלקטרוני סרוק, מתוך המחקר.

## רקע תיאורטי

משבר האקלים הנובע מפליטת גזי חממה לאטמוספירה תופס מקום מרכזי בתשומת הלב הציבורית. אחד הגורמים העיקריים לו הוא ייצור אנרגיה באמצעות דלקים מתכלים. פתרון ישים ויעיל מאוד לבעיה זו הוא מעבר לאנרגיות מתחדשות והיעילה והעקבית בהן היא האנרגיה הסולרית.

תאים סולריים מבוססי פרובסקיט (Perovskite) מראים במעבדה יעילות גבוהה יותר מאשר תאים סולריים העשויים סיליקון המצויים כיום בשוק (כ-20% לעומת כ-25%). בנוסף, לננו־חלקיקי פרובסקיט היכולת להפוך אור לחשמל בניצולת קוונטית גבוהה. לכן יש להם גם פוטנציאל לשימוש עתידי בנורות LED.

נורות LED מפיקות אור בצבע אחד אחיד, ולכן יש חשיבות רבה לאפשרות לכוון את אורך גל הפליטה של ננו־חלקיקי הפרובסקיט לכל ספקטרום האור הנראה. ניתן לעשות זאת בזמן הסינתזה של הננו־חלקיקים או אחריה.

ניתן להפיק ננו־חלקיקי פרובסקיט בהרכבים שונים הפולטים במגוון צבעים מראש, אך ייתכן כי יותר קל ליצר אותם מראש בהרכב קבוע ואז לבצע בהם שינויים באמצעות החלפה יונת בתהליך פוסט־סינתזה.



איור 1: תצלום של שלושה בקבוקונים של תמיסות ננו־חלקיקי פרובסקיט  $CsPbX_3$ , כאשר X = Cl, Br, I — תחת פנס על-סגול, מתוך המחקר.

