

# מדריך למורה

## ניסוי ננו-חיישן קולורימטרי מזהב

### מטרות:

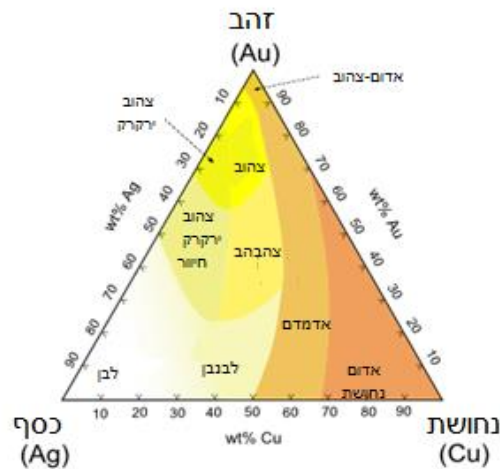
- ללמוד איך אפשר לייצר חלקיקי ננו מזהב במעבדת בית הספר
- להבין את השפעתו של גודל החלקיק על תכונותיהם של חומרים מוכרים, כדוגמת הזהב
- להבין כיצד משמשים קולואידים של זהב כחיישנים המסייעים באבחנה רפואית

### רקע

בניסוי זה התלמידים ישתמשו בחיישן פלזמוני קולורימטרי העשוי מחלקיקי ננו: קולואיד הזהב (המכיל חלקיקי ננו של זהב) הוא חומר בעל יכולת חישה. הוספת האנליט (למשל מלח או סוכר) מחוללת שינויים בהלכד חלקיקי הננו המרחפים בקולואיד. שינוי זה מתבטא בשינוי צבעו. להלן נציג חומר רקע הנוגע לתכונותיהם של חלקיקי ננו-זהב ולשימוש שעושים בהם לאבחנה רפואית. כמו כן נרחיב מעט על הסינתזה של קולואיד הזהב.

### 1) הזהב

בניסוי זה נוצר חיישן מחלקיקי ננו של זהב. רוב התלמידים בוודאי מכירים היטב את צבעו של הזהב וכמה מתכונותיו במצבו המוצק. אבל הם אינם מכירים את תכונותיו כאשר הוא מופרד לגופיפי ננו. הזהב (Au, מספר אטומי 79) הוא המתכת החשילה והמשיכה ביותר; אפשר לרקעו לעלים דקים מאוד ולעגל ולכופף אותו בלא הגבלה. אפשר להכין סגסוגות זהב מהרבה מתכות שונות. צבעו של הזהב הטהור צהוב מתכתי ("זהוב"), אבל צבעי הסגסוגות, למשל זהב-נחושת או זהב-כסף, שונים. "זהב אדום" למשל הוא סגסוגת של זהב וכמות גדולה של נחושת. צבעו אדמדם כפי שמעיד שמו (ראה איור מס' 1).



איור מס' 1 – קירוב של צבעי סגסוגות כסף-זהב-נחושת.

1

**הערה:** יש סגסוגות זהב שצבען שונה מהצהוב המתכתי של הזהב הטהור, אבל זה בגלל שהסגסוגת מורכבת משתי מתכות שונות. לקולואידים של ננו-זהב יכולים להיות כל מיני צבעים, למשל אדום, סגול וכחול, אבל החלקיקים עשויים זהב בלבד.

הזהב יציב מאוד ואינו רעיל, לכן מרבים להשתמש בו לצורפות ולרפואת שיניים. הוא לא מתרכב עם חומרים שבאוויר ואינו מושפע מרוב הראגנטים. הזהב גם מוליך היטב חום וחשמל (משום שאלקטרוני ההולכה שלו חופשיים לנוע בין המולקולות) ועמיד לשיתוך (קורוזיה), לכן משתמשים בו גם למגעים חשמליים ורכיבים אלקטרוניים אחרים. לזהב עוד שימושים רבים. נהוג, למשל, לצפות שמשות של חלונות בניינים גדולים בשכבה דקיקה (דקה עד שקיפות) של זהב. החלונות המצופים מחזירים יותר אור שמש ומעבירים פחות אור וחום וכך הבניין מצריך פחות מיזוג בעונות החמות.

## (2) מגוש מתכת ל"ננו מתכת"

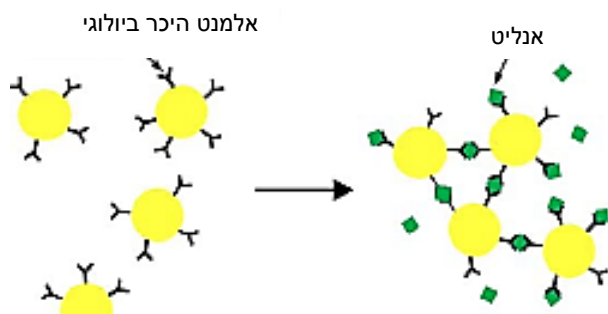
אחת הקטגוריות המיוחדות חלקיקי ננו של מתכות היא **תכונותיהם האופטיות**, השונות מהתכונות האופטיות של אותן מתכות כאשר הן בגוש אחד. ההבדל נובע מתופעה שנקראת תהודת פלזמון פני שטח ממוקם (localized surface plasmon resonance, LSPR), המתואר **בפרק 4 של יחידה 1** **בחומר למורים באתר ננויו nanoyou.eu "תופעות ננו בסיסיות"**. אחת מהתוצאות של אפקט ה-LSPR בננו חלקיקים מתכתיים היא שהם מתאפיינים ב**בליעה חזקה של אור נראה**. הדבר נובע

<sup>1</sup> תמונה - Wiki commons, Creative commons Attribution ShareAlike 3.0

מאפקט התהודה הנגרם מהתנודות הקוהרנטיות של הפלזמונים. התוצאה היא שצבעם של קולואידים של חלקיקי מתכת, כמו כסף או זהב, לפעמים שונה מצבע המתכת כשהיא בגוש. הקולואידים יכולים להיות אדומים, סגולים, או כתומים למשל. צבעם תלוי בצורתם ובגודלם של חלקיקי הננו ובתווך שבו הם שרויים. האנרגיה של ה-LSPR רגישה לפונקציה הדיאלקטרית של החומר ושל סביבתו ולצורתם וגודלם של חלקיקי הננו. פירוש הדבר הוא שאם מחברים ליגנד, חלבון למשל, אל פני חלקיקי הננו המתכתי, אנרגיית ה-LSPR משתנה. אפקט ה-LSPR רגיש גם לשינויים אחרים, כמו **המרחק בין חלקיקי הננו**. מרחק זה יכול להשתנות בשל נוכחותו של חומר פעיל-פנים (סורפקטנט) או תרכובת יונית. בגלל תלותו של ה-LSPR בדיאלקטריות של הסביבה, מקדם השבירה יכול לשמש כפרמטר חישה: על פי שינויים דיאלקטריים מקומיים שמחולל תהליך החישה אפשר להבחין בקשירה של מולקולות בסביבת חלקיקי הננו.

### 3) חיישן פלזמוני קולורימטרי מקולואיד זהב

בחיישן ביולוגי פלזמוני, חלקיקי הננו יכולים להיות מפוזרים בתווך (ואז החיישן נקרא חיישן ביולוגי פלזמוני **קולואידי**) או מונחים על פני השטח (חיישן ביולוגי פלזמוני **משטחי**). שני סוגי החיישנים מתבססים על כך שהאירוע שאותו הם חשים משנה את ה-LSPR של חלקיקי הננו המתכתיים, אבל הם נבדלים בשיטות הקריאה.

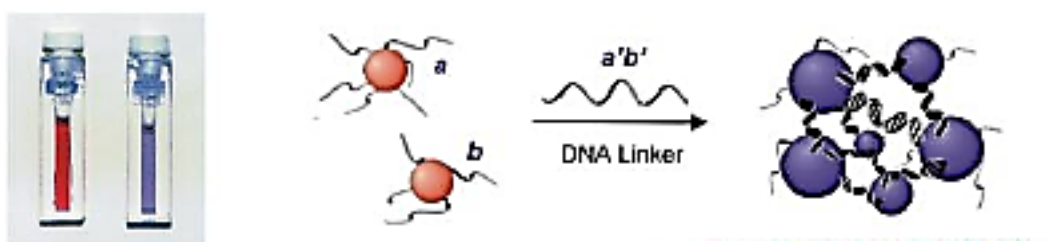


איור מס' 2 - ייצוג סכמטי של חיישן ביולוגי פלזמוני קולואידי

**בחיישני-ביו פלזמוניים קולואידים (מננו-חלקיקי זהב למשל) אירוע החישה משנה את אופן ההתלכדות של חלקיקי הננו הקולואידיים (איור מס' 2).** אופן התלכדות זה יכול להכתיב את צבע הקולואיד. כימות החישה נעשה בעזרת ספקטרוסקופיית

בליעה. בקולואיד של חלקיקי זהב, שהוא אדום בדרך כלל, אירוע החישה יכול לגרום לשינוי צבע הקולואיד לכחול. וכך משמשים קולואידים מתכתיים כחיישנים פלזמוניים קולורימטרים (קולורימטרים – **מלשון צבע מדיד**). ברפואת-ננו משתמשים באפקט הזה לניפוי גנטי, שבו מחפשים בדגימת דנ"א רצף גנים מסוים שעשוי להצביע על מחלה. **איך עושים את זה?** ראשית מזחים את רצף הבסיסים בדנ"א המטרה. אחר כך מכינים שתי קבוצות של חלקיקי זהב: בקבוצה אחת מצמידים לכל חלקיק פיסת דנ"א שנקשרת לקצה של דנ"א המטרה, ולחלקיקי הקבוצה השניה מצמידים פיסת דנ"א שנקשרת לקצהו השני. (איור מס' 3). חלקיקי הננו מרחפים במים בפיזור אחיד. כשמוסיפים למים את דנ"א המטרה, הוא נקשר לשני סוגי החלקיקים ומחבר ביניהם. נוצר תלכיד. היווצרות התלכיד גורמת לשינוי בספקטרום הפיזור

של התמיסה. כלומר, התמיסה משנה את צבעה באופן ברור. **איור מס' 3<sup>2</sup>** מדגים את זה. מאחר שהקולואיד משנה את צבעו בתגובה לאירוע החישה, זוהי **חישה קולורימטרית**. קולואידים של זהב יכולים לשמש חיישנים קולורימטרים בדיוק מפני שהם משנים את צבעם בהתאם לסביבה שבה שרויים חלקיקי הזהב. שיטה זו אינה מוגבלת רק לחישה של גדילי דנ"א אלא גם לזיהוי מולקולות ביולוגיות משלימות אחרות כמו מערכות אנגד-נוגדן (antigen-antibody). היא משמשת לבדיקת



עם דנ"א      בלי דנ"א

**איור מס' 3 – חיישן פלזמוני קולואידי.**

יציבותם של חלבונים. בניסוי זה הוא **איכותני** בלבד: החישה מתבטאת בשינוי צבע הקולואיד באופן הנראה בעין בלתי מזוינת (בליעה נראית).

#### (4) האם יש עוד הבדלים בין זהב בננו חלקיקים לזהב בגוש?

כן, יש. ננו-זהב הוא חומר הגבי מאוד וחוקרים היום את האפשרות להשתמש בו כ**בזרז**. מחקרים רבים בנטרול זיהומים הראו שחלקיקי ננו של זהב הם זרז יעיל ביותר. חברה אחת הכריזה, לדוגמה, שפיתחה זרז חמצון מזהב-ננו מהונדס שיכול להפחית את פליטת הפחמימנים של מנועי דיזל ב-40% טוב יותר מהחומרים המשמשים לכך היום. לאור העובדה שיש היום בעולם למעלה מ-14 מיליון משאיות דיזל קלות וכ-2 מיליון משאיות דיזל כבדות, השפעתה של הננוטכנולוגיה הזאת יכולה להיות אדירה.

#### (5) סינתזה של זהב קולואידי

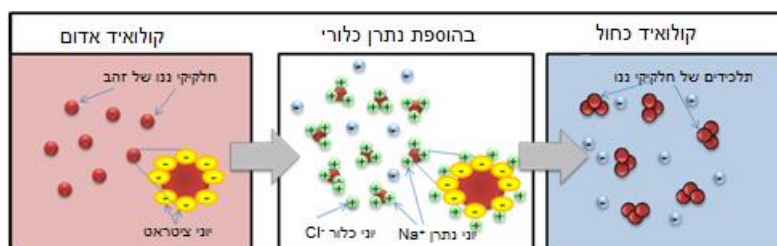
**בניסוי זה**, התלמידים יכינו קולואיד של מים וחלקיקי ננו מזהב. חומרי הגלם להכנת הקולואיד הם תמיסה של **הידראט זהב כלורי** ( $\text{HAuCl}_4$ ) ותמיסה של **נתרן ציטראט**. זאת

<sup>2</sup>תמונה: תדפיס ברשות מתוך 1634, 125(6), 2003, Jin et al., Journal of American Chemical Society – זכויות יוצרים American Chemical Society 2003

התגובה הפשוטה ביותר לסינתוז חלקיקי ננו של זהב. חלוצי השיטה היו טורקביץ' ושותפיו ב-1951, ובשנות ה-70 של המאה ה-20 הוסיף ושכלל אותה ג' פרנז. התיאור המוצג כאן לקוח מתוך מראה מקום 1. בשיטה זו מתקבלים בדרך כלל חלקיקי ננו בקוטר 10 עד 20 ננומטר, לכן התוצר הסופי הוא **קולואיד זהב**<sup>3</sup>. במהלך התגובה, הציטראט פועל הן כחומר חיזור חלש (חיזור ה-AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> ל-Au) והן כמייצב. שכבה של אניונים ציטראטיים מקיפה כל חלקיק ננו ומונעת מהם להתלכד ולשקוע: הדחיה האלקטרוסטטית של האניונים מפרידה בין חלקיקי הננו. במצב זה, הקולואיד מקבל צבע אדום-רובי. זה קורה מפני שתנודות האלקטרונים החופשיים (פלזמון פני השטח) גורמות לבליעת אור. פלזמון פני השטח  $\lambda_{max}$  בקולואיד הזהב נמצא בין 500 ל-600 ננומטר. הערך המדויק תלוי בגודל החלקיק ובצורתו, כמו גם במקדם השבירה של הממס ובמרחק בין החלקיקים. בניסוי זה ערך  $\lambda_{max}$  קרוב ל-520 ננומטרים (ירוק) לכן התמיסה נראית אדומה. אפשר להראות בעזרת גלגל צבעים את ההתאמה בין הצבע שהחומר בולע והצבע בו הוא נראה לעין.

**אם מסירים את שכבת האניונים, חלקיקי הננו מתחילים להתקרב זה לזה ולהתגייש (אגלומרציה).** אפשר להשתמש באפקט הזה כדי לזהות את נוכחותם של כימיקלים. אם מוסיפים אלקטרוליט חזק לקולואיד, NaCl לדוגמה, יוני המלח מסככים את המטענים השליליים שמכסים את הננו-חלקיקים ומאפשרים לחלקיקים להתקרב זה לזה ולהתלכד לגושים גדולים. היווצרות הגושים מתבטאת בשינוי הספקטרום האופטי ובהופעתו של פיק-בליעה שני באורכי גל 650-750 ננומטר. שינוי זה מעניק לתמיסה צבע **כחול כהה**. אם מגיעים לריכוז גבוה של מלח, חלקיקי הננו מתלכדים עד כדי שקיעה, הנוזל נעשה שקוף וחסר צבע, ואפשר לראות משקע שחור.

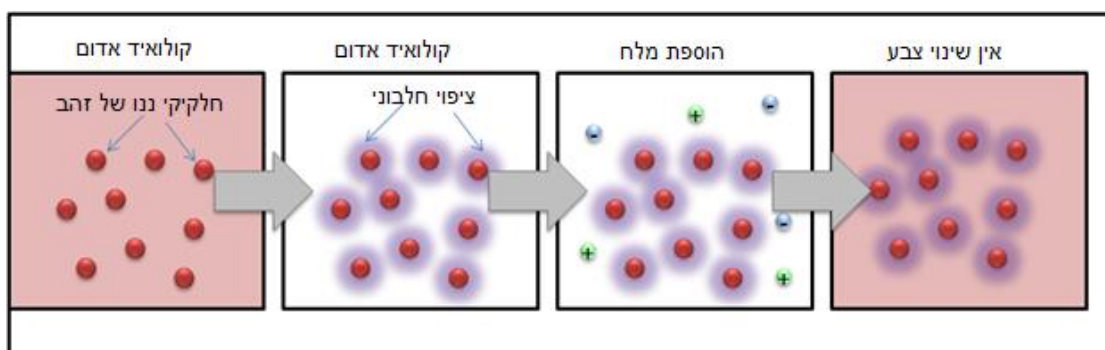
<sup>3</sup> בקולואיד חומר אחד מפוזר שווה בכל נפחו של חומר אחר, אבל חלקיקי החומר המפוזר מרחפים בתערובת במבנים על-מולקולריים ואינם מומסים בחומר התווך כליל. קוטר המבנים המרחפים הוא בין 10 ל-1000 ננומטרים. קולואידים מופיעים בטבע כתחליב (emulsion, דוגמה: חלב), תקריש (gel, דוגמה: ג'לטין), ארוסול (aerosol, דוגמה: ערפל), וכיוצא בהם.



**איור מס' 4** – תיאור סכמטי של השינויים האופטיים בקולואיד זהב כאשר מוסיפים לו תמיסת מלח. (תמונה: ל" פיליפוני, iNANO, אוניברסיטת ארה"ס, Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0)

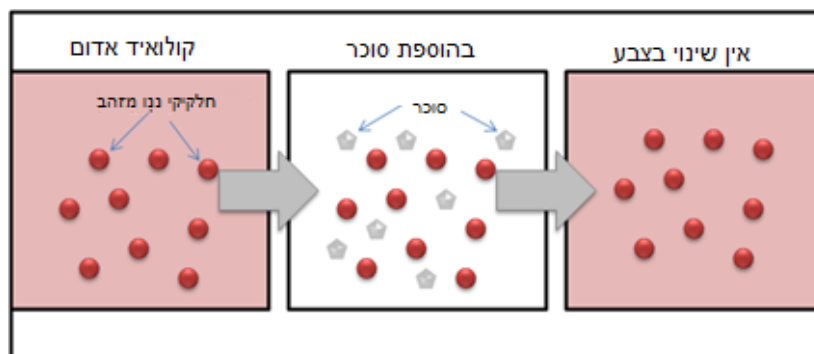
יש עוד תגובות בולטות לעין והן:

- **אם מוסיפים מייצב בעל משקל מולקולרי כבד**, למשל חלבון כלשהו או פוליאיתילן גליקול, הוא מסתפח אל פני הננו-חלקיקים ומדכא את ההתלכדות גם במליחות גבוהה (**איור מס' 5**). בתרגיל זה נשתמש בחלבון ביצה כמקור חסכוני לחלבונים (בעיקר אובאלבומין).



**איור מס' 5** – תיאור סכמטי של ציפוי חלקיקי הננו-זהב בחלבון, המונע את התלכדותם בהוספת מלח לקולואיד. (תמונה: ל" פיליפוני, iNANO, אוניברסיטת ארה"ס, Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0)

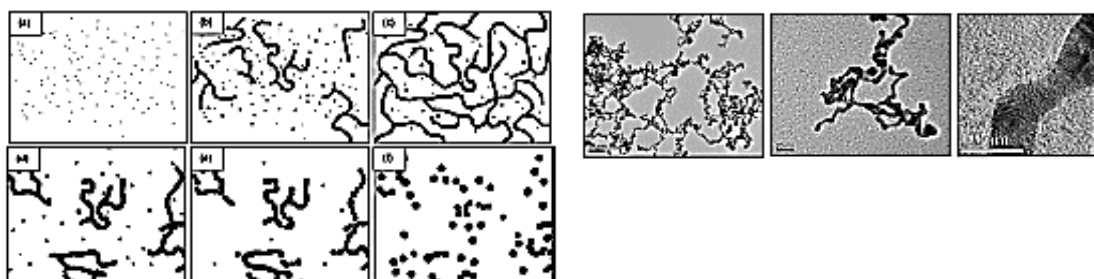
- **אם מוסיפים לקולואיד חומר אלקטרוליטי חלש או בלתי אלקטרוליטי** (כמו סוכר לדוגמה), הדחייה האלקטרוסטטית בין הזהב ליוני הציטראט אינה מופרת, והקולואיד נשאר אדום. שינוי קל בצבע (לדוגמה, מאדום-רובין לאדום ורדרד) יתכן, וזאת בשל אגלומרציה מעטה מאוד שנובעת מהוספת חלבון (**איור מס' 6**).



**איור מס' 6** – תיאור סכמטי של השינויים האופטיים בקולואיד זהב כאשר מוסיפים לו תמיסת סוכר. (תמונה: ל" פיליפוני, iNANO, אוניברסיטת ארה"ס, Creative Commons Attribution (ShareAlike 3.0)

אחד הדברים המיוחדים את הסינתזה הזו היא שינויי הצבע המתרחשים מרגע הוספת את הציטראט לתמיסת הזהב הכלורידי בטרם יתקבל הגוון האדום-רובין הסופי. בתחילת התגובה התמיסה צהבהבה (תמיסה של  $\text{HAuCl}_4$ ), ולאחר הוספת הציטראט, הצבע משתנה תחילה לחוסר צבע, אחר כך לאפור בהיר, כחול אפרפר כהה, סגול, סגול כהה, ולבסוף אדום-רובין. עד לא מכבר, שינויי הצבע האלה לא היו מובנים. היום יודעים שהם נובעים מהיווצרותם של מבני ננו זמניים המקדימים את המבנה הסופי של חלקיקי הזהב. ובפרט, תמונות של מיקרוסקופ אלקטרוני סורק מראות שכמה שניות לאחר הוספת הציטראט, נוצרים מהזהב תיילי-ננו באורך 5 עד 8 ננומטרים, אלה המבנים שגורמים לשלב הסגול כהה בסדרת הצבעים. מעבר לסף מסוים, תיילי הננו מתפרקים לחלקיקי הננו הסופיים, והקולואיד מקבל את צבעו האדום.

אף על פי שהכימיה והקינטיקה של התגובה הזו מסובכות מכדי ללמדן בכיתה, יש לעקוב בתשומת לב אחר שינויי הצבע המהירים והבולטים. תצפית זו צריכה לאשש את התפיסה שגודלם וצורתם של חלקיקי ננו הם גורמים בעלי השפעה רבה (איור מס' 7<sup>4</sup>).



**איור מס' 7 –** בצד שמאל, תהליך התהוותם של חלקיקי ננו-זהב כדוריים המסונתזים בחיזור תמיסה מימית של  $\text{AuCl}_4^-$  על ידי נתון ציטראט. בצד ימין, תמונות TEM של שלב הביניים הכהה. אפשר לראות רשת צפופה של תיילי ננו מזהב, שהוצאו מהתמיסה הסגולה כהה.

**קריאה נוספת למורה:** פרק 4 ביחידה 1 "Fundamental 'Nano-effects'" ופרק 1 ביחידה 2 "Application of Nanotechnologies: Medicine and Healthcare" בערכת NANOYOU למורים באתר [nanoyou.eu](http://nanoyou.eu).

<sup>4</sup>(תמונות: תדפיס ברשות מתוך Pong et al., J. Phys. Chem. C 2007, 111, 6281-7 וכויות יוצרים American Chemical Society 2003).

#### על אודות ניסוי זה:

כדי שהתלמידים יקבלו מושג חזותי בדבר האופן שבו קולואידים של זהב משמשים כחיישנים רפואיים, עליהם:

- א': לצפות בסרטון על הכנת חלקיקי ננו של זהב שהכינה ד"ר ליסה פיליפוני מאוניברסיטת ארה"ס. התלמידים יראו את היווצרותם של חלקיקי הננו-זהב כפי שהיא מתבטאת בתגובה הכימית. במשך התגובה, נוצרים תוצרי ביניים המעניקים לקולואיד צבעים שונים. לחלופין, עליהם לצפות בניסוי שידגים המורה.
- ב': לבדוק אם נוזלים שונים הם קולואידים בעזרת אלומת לייזר.

**אזהרה:** לעולם אין להאיר בלייזר בקרבת עיני אנשים ולא להסתכל באלומה ישירות!

- ג': לבחון את פעולתם של חלקיקי הזהב כחיישן קולורימטרי

**מיאון תביעה:** הניסויים המתוארים בערכת הכשרה זו כוללים שימוש בכימיקלים שיש לנהוג בהם על פי גיליון בטיחות מתאים ולפי כללי הבטיחות של בית הספר. יש להשתמש בצידוד מגן אישי כמפורט. כנהוג עם כימיקלים בכלל, יש לנקוט אמצעי זהירות. אין לשאוף מוצקים ויש להימנע ממגע שלהם עם העור, העיניים והבגדים. יש לרחוץ ידיים היטב לאחר העבודה עם החומרים. יש לסלק את החומרים העודפים כמפורט בזאת. את כל הניסויים יש לבצע בנוכחותו של מחנך שהוכשר להוראת מדעים. האחריות לכל הניסויים מוטלת על המנסים. אוניברסיטת ארה"ס (iNANO) וקונסורטיום NANOYOU בכללותו לא יישאו באחריות לכל נזק או הפסד

#### דרכים אפשריות להוראה

##### פעילות מקדימה: שאלות ודין

1. בקשו מהתלמידים להשיב על שאלות 1 עד 3

שאלה 1: מה צבעו של הזהב?

שאלה 2: מה ידוע לכם על תכונותיו של הזהב?

שאלה 3: מנו את היישומים והשימושים שיש לזהב.

2. דונו עם התלמידים בנושא והציגו לפניהם שאלות אלה:

**'האם תכונות הזהב בסדר הגודל ננו דומות לתכונות שמניתם?'**

**האדם משתמש בזהב כבר דורות על גבי דורות**

הראו לכיתה תמונות של ויטראז'ים מימי הביניים – Medieval Vitrage

**Google**  
 תמונות היעזרו ב



- אומני צביעת הזכוכית של ימי הביניים לא ידעו זאת, אבל הם היו ראשוני הננוטכנולוגים. הם צבעו את הזכוכית על ידי הוספת זהב כלורי לזכוכית המותכת ובכך בעצם יצרו כדוריות זהב קטנטנות הבולעות ומחזירות את אור השמש וצובעות את הזכוכיות בשלל צבעים.

לאחר שהתלמידים יקראו את פסקה 1' ו-1ב' בדף העבודה לתלמיד, המשיכו:

שאלה 4: כשמערבבים סוכר ומים, מקבלים קולואיד או תמיסה? הסבירו.

שאלה 5: האם תערובת של חול ומים (בוץ) היא קולואיד או תמיסה? נמקו.

### 1א': סיתנתזה של חלקיקי ננו-זהב קולואידיים

הראו לכיתה סרטון זה: סינתזה של קולואיד זהב לחלופין,

הדגימו: סינתזה של קולואיד זהב (ראה נספח א')

\* אפשר להוריד את הסרטון בפורטל NANOYOU: <http://www.nanoyou.eu/>

שאלה 6: רשמו את תצפיותיכם בטבלה:

| צבע תמיסת ה-<br>$\text{HAuCl}_4$<br>(לפני התגובה) | צבע<br><u>מיד</u> לאחר הוספת<br>הציטראט | שינויי הצבע<br><u>בזמן</u> התגובה | צבע<br>קולואיד הזהב<br>הסופי |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| צהוב בהיר (חלש מאוד)                              |                                         |                                   |                              |

שאלה 7: מדוע לדעתכם הנוזל משנה את צבעו כמה פעמים במהלך התגובה? (רמז: נסו לנסח את ההסבר במונחים של גודל החלקיקים)

# ב'1: זיהוי נוכחותם של חלקיקי ננו מזהב

בדיקה של תערובות שונות בעזרת אלומת לייזר.

שאלה 8: בסרטון שראיתם (או בהדגמת המורה) הזהב היה בהתחלה **בתמיסה** ואחר כך **בקולואיד**. הסבירו מהי תמיסה ומהו קולואיד.

כוונו את מצביע הלייזר אופקית לכל אחת מדוגמאות החומר. אם החומר הוא קולואיד תוכלו לראות את הקרן העוברת בו, מפני שחלקיקי הקולואיד גדולים דיים להחזיר אור.

שאלה 9: רשמו את תצפיותיכם בטבלה:

| חומר                         | השפעתו הנראית על קרן הלייזר:<br>מתפזרת/אינה מתפזרת |
|------------------------------|----------------------------------------------------|
| מים                          |                                                    |
| תמהיל מים וכמה טיפות חלב     |                                                    |
| חלב                          |                                                    |
| מי מלח                       |                                                    |
| *תמיסת $\text{HAuCl}_4$ במים |                                                    |
| טריסודיום ציטראט             |                                                    |
| קולואיד זהב (אדום)           |                                                    |

\* הערה 1:  $\text{HAuCl}_4$  היא אחת ה**תמיסות** המשמשות לניסוי 1א' (לפני התגובה עם תמיסת הנתרן ציטראט).

\* הערה 2: את כל התמיסות יש להכין ממים מזוקקים. לאחר הכנתן יש להניח להן לעמוד כמה דקות בטרם ייעשה בהן הניסוי, כדי לאפשר לבועות אוויר לצאת. אם יהיו בהן בועות בזמן הניסוי, התוצאות יכולות להיות מטעות.

שאלה 10: על פי התצפיות, איזה מבין הנוזלים שבדקתם הוא קולואיד? נמקו.

שאלה 11: ספרו במילים שלכם מה למדתם מניסוי 1א' ומניסוי ב'1.

# **1 ג': בדיקת תפקודו של קולואיד הזהב כחיישן (ביולוגי) קולורימטרי**

- 1) מזגו מהקולואיד האדום לחמישה בקבוקונים, כ-3 מיליליטר בכל בקבוקון.
- 2) השאירו בקבוקון אחד כקבוצת ביקורת, ואת ארבעת האחרים העבר בדיקות קולורימטריות שונות.

שאלה 12: רשמו את תצפיותיכם בטבלה:

| דגימה          | בדיקה                                       | תגובה נראית<br>[שינוי צבע] |
|----------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| בקבוקון ביקורת | -                                           |                            |
| בקבוקון מס' 1  | הוספת 2-3 טיפות של<br>תמיסת מלח (NaCl)      |                            |
| בקבוקון מס' 2  | הוספת 15-20 טיפות<br>של תמיסת מלח<br>(NaCl) |                            |
| בקבוקון מס' 3  | הוספת 10 טיפות של<br>תמיסת סוכר             |                            |
| בקבוקון מס' 4  | הוספה של מעט חלבון<br>ביצה                  |                            |
| בקבוקון מס' 5  | הוספת 2-3 טיפות של<br>מי מלח לבקבוקון מס' 4 |                            |

שאלה 13: איך מבחין הקולואיד בנוכחות אלקטרוליטים, כמו מלח למשל? במה מתבטאת אותה הבחנה?

שאלה 14: מדוע שינויי הצבע אינם זהים כאשר מוסיפים לקולואיד מלח וכאשר מוסיפים לו סוכר?

**סיכום (\*) אפשר להשתמש בו להערכה מסכמת)**



1. האם זהב-ננו שונה מהזהב הרגיל שאנחנו מכירים?

השוואה בין גוש זהב ובין זהב בחלקיקי ננו

| חלקיקי ננו | גוש מקרו |                |
|------------|----------|----------------|
|            |          | צבע            |
|            |          | גודל           |
|            |          | תכונות אופטיות |
|            |          | שימושים        |

2. מנה כמה קולואידים טבעיים.

3. מדוע חלקיקי ננו של זהב חשובים כל כך למחקר הרפואי?

---



---

**קרדיט**

תרגיל זה מתבסס חלקית על הניסוי המתואר ב- "Color my nanoworld", Journal of Chemical Education, Vol. 81(4), 2004; לתיאור מפורט יותר של סינתזת קולואיד הזהב ראה: Keating et al., Journal of Chemical Education 1999, Vol. 76, No. 7 pp. 949-955.

**השימוש בתמונות**

את התמונות שבמסמך זה צילמה ל' פיליפוני ממרכז iNANO של אוניברסיטת ארה"ס. מותר להעבירן ולהשתמש בהן בכפוף לתנאי Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0.

## נספח א' – הליך תגובה להכנת קולואיד זהב

להלן מפורט הליך הסינתזה של ניסוי ג'

**מיאון תביעה:** הניסויים המתוארים בערכת הכשרה זו כוללים שימוש בכימיקלים שיש לנהוג בהם על פי גיליון בטיחות מתאים ולפי כללי הבטיחות של בית הספר. יש להשתמש בצידוד מגן אישי כמפורט. כנהוג עם כימיקלים בכלל, יש לנקוט אמצעי זהירות. אין לשאוף מוצקים ויש להימנע ממגע שלהם עם העור, העיניים והבגדים. יש לרחוץ ידיים היטב לאחר העבודה עם החומרים. יש לסלק את החומרים העודפים כמפורט בזאת. את כל הניסויים יש לבצע בנוכחותו של מחנך שהוכשר להוראת מדעים. האחריות לכל הניסויים מוטלת על המנסים. אוניברסיטת ארה"ס (iNANO)

### חומרים:

#### כימיקלים:

- 0.1 גרם  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (מס' בקטלוג Sigma Aldrich: #G4022; עלות לגרם: 144.5 אירו), או לחלופין תמיסת אם של  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , בריכוז 10 מילימולאר (ערכת הננו).
- 0.5 גרם טריסודיום ציטראט  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (מס' בקטלוג Sigma Aldrich: #S4022; עלות ל-25 גרם: 24 אירו)
- 1 ביצה טריה
- מים מזוקקים
- בנוסף, חומרים לכל קבוצת תלמידים:
- 0.5 גרם  $\text{NaCl}$ , אפשר להשתמש גם במלח שולחן רגיל
- 2 גרם סוכר

- 1 ליטר מים מזוקקים

#### כלים וציוד מעבדה:

- משקפי מגן
- כפפות לטקס או ניטריל
- מגבוני נייר
- משורות: 10, 50 ו-500 מיליליטר
- פיפטות זכוכית: 5 מ"ל, 25 מ"ל
- בקבוק ארלנמאייר או כוס מעבדה בנפח 50 מ"ל
- 4 קפסולות פלסטיק חד פעמיות לשקילה
- מרית
- בקבוקי זכוכית: 1 בנפח 500 מ"ל, 2 בנפח 25 מ"ל או במקומם שתי כוסות מעבדה בנפח זה
- נייר אלומיניום

- 1 מצביע לייזר
- 1 פלטת חימום ובחישה
- 1 כפיס בחישה מגנטי
- 1 כפפת אפיה
- לבדיקה במצביע הלייזר נחוצה גם:**
- 1 כוס חלב

### כללי בטיחות

השתמש בחומרים תוך נקיטת כללי הזהירות הרגילים בעבודה עם כימיקלים, כמצוין בגיליון הבטיחות המתאים. הרכב משקפי מגן ולבש כפפות. אין לשאוף מוצקים ויש להימנע מכל מגע עם העור, העיניים והבגדים. לאחר הניסוי רחץ ידיים היטב. **שים לב ש-  $\text{HAuCl}_4$  ו-  $3\text{H}_2\text{O}$  הוא חומר משתך ויש להיזהר בו בהתאם.**

### סילוק קולואיד הזהב

בתום הניסוי, סלק את שיירי הקולואיד כמפורט כאן: הוסף לקולואיד כמות מספקת של NaCl עד לשקיעת החלקיקים. תן לתמיסה לעמוד במקומה 30 דקות לפחות (יצטבר משקע שחור). סנן את המשקע בנייר סינון, והשלך אותו ככל אשפה מוצקת רגילה. את הנוזל הצלול שנשאר שפוך לכיור ואיתו כמות גדולה של מים.

### מהלך הניסוי:

#### א. הכנת התמיסות הנחוצות

חומרים לכל קבוצת תלמידים:

- 0.5 גרם NaCl, אפשר להשתמש גם במלח שולחן רגיל
- 2 גרם סוכר
- 1 ביצה טריה
- מים מזוקקים
- **להכנת תמיסת יוני זהב בריכוז 1.0 מילימול ליתר:** המס 0.1 גרם של  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (מוצק כתום) ב-500 מ"ל מים מזוקקים. תתקבל תמיסה בצבע צהוב בהיר.
- לחלופין, למורים שבידיהם ערכת הננו של אורט המכילה תמיסת אם של מימן טטרכלורואוראט בריכוז 10 מילימול ליתר:** עבור כל 2 מיליליטר של תמיסת ה-10 מילימול ליתר יש להוסיף 18 מ"ל מים מזוקקים (כלומר, דילול התמיסה ביחס 1:10).
- **טריסודיום ציטראט בריכוז 1%:** המיסו 0.5 גרם של  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ב-50 מ"ל מים מזוקקים.
- **תמיסת מלח בריכוז של כ-1 מול ליתר:** המיסו 0.5 גרם של NaCl (או מלח שולחן) ב-10 מ"ל מים מזוקקים.
- **תמיסת סוכר בריכוז של כ-1 מול ליתר:** המיסו 2 גרם סוכר ב-10 מ"ל מים מזוקקים.
- **אובו-אלבומין:** פתחו ביצה טריה ושאבו בפיפטת פסטר מעט מחלבונה (כ-1 מ"ל, או 2-3 פיפטות מלאות). העבירו את החלבון לבקבוקון זכוכית ריק, והוסיפו מלוא הפיטה מים

מזוקקים. בחשו בעדינות. יעלה קצף, לכן הניחו לתערובת לעמוד כדקה עד שהקצף יתפוגג, ואז שאבו ממנה בפיפטה, מתחתית הכלי, כדי לא לשאוב איתה בועות. הוסיפו מתערובת המים והחלבון לקולואיד הזהב.

### ב' הליך הסינתזה של קולואיד הזהב



כדאי לנסות את התהליך על כמות קטנה של חומר, שכן נתן ציטראט מיצרנים שונים יכול לתת תוצאות שונות, וכן רתיחה חזקה מדי או ארוכה מדי יכולה לשנות את כמות הנוזל.

ניתן לזהות שכמות הנתן ציטראט נמוכה מדי אם לאחר מספר דקות מקבלים תגובת שקיעה (הנוזל הופך צלול).

1) הוסיפו 20 מ"ל מתמיסת ה- $\text{HAuCl}_4$  בריכוז 1.0 מילימול לליטר לארלנמאייר בנפח 50 מ"ל והנח אותו על פלטת החימום (מכובה). צבע התמיסה צריך להיות צהוב בהיר. הוסף כפיס בחישה מגנטי לכלי, הפעילו את הבחישה והחימום (ל-120 מעלות צלזיוס בערך). הביאו את התמיסה לרתיחה. כדי לצמצם את האידוי ככל האפשר, לאחר רתיחה, הנמיכו את החום לכ-100 מעלות.

2) **לתמיסה הרתחת** הוסיפו בבת אחת כ-2 מ"ל (יכול להגיע עד 3 מ"ל) מתמיסת הנתרן ציטראט ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) בריכוז 1%. קולואיד הזהב ייווצר בהדרגה בשעה שהציטראט מחזר את הזהב. צפו בשינויי הצבע מרגע הוספת הציטראט. משקיבלה התמיסה צבע אדום-רובין, כבו את הפלטה והפסיקו את הבחישה. הסירו את הארלנמאייר מהפלטה. **זהירות:** הכלי יהיה חם, לכן יש להשתמש בכפפות אפיה כדי להימנע מכוויה! הניחו את הכלי על משטח בטוח (לדוגמה, על פיסת נייר אלומיניום השטוחה על פני שולחן המעבדה).



לפני התגובה



### קרדיט

תרגיל זה מתבסס חלקית על הניסוי המתואר ב- "Color my nanoworld", Journal of Chemical Education, Vol. 81(4), 2004; לתיאור מפורט יותר של סינתזת קולואיד הזהב ראה: Keating et al., Journal of Chemical Education 1999, Vol. 76, No. 7 pp. 949-955.

### השימוש בתמונות

את התמונות שבמסמך זה צילמה ל' פיליפוני ממרכז iNANO של אוניברסיטת ארה"ס. מותר להעבירן ולהשתמש בהן בכפוף לתנאי Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0.