**תיאור כללי של הפעילות**

* **שם הפעילות:** ייצור דלק מימן בעזרת ננו-צינורות פחמן.
* **פיתוח:** אייל צ., במסגרת הקורס דרכי הוראה המקדמות חשיבה, חקר ומצוינות: כימטק – כימיה בעולם ההייטק
* **הנחייה:** ד"ר מלכה יאיון וד"ר שלי לבנה
* **קשור לנושא הוראה:** אנרגיה וקינטיקה ומבנה וקישור (מעט).
* **מהות הקשר לתעשיית ההייטק:** פיתוח תאי דלק מימן לאנרגיה נקייה תוך שימוש בננוטכנולוגיה.
* **ערך מוסף של שימוש בפעילות:** היכרות עם ננו-צינוריות פחמן, היכרות עם מקורות אנרגיה חלופיים ושימוש באנרגיה נקייה.
* **קישור למאמר:** <http://www.hayadan.org.il/produce-clean-burning-hydrogen-fuel-1507146>
* **סוג הפעילות:** אנסין, משימת אוריינות.
* **אופן ביצוע הפעילות:** יחידני או בזוגות.
* **מיקום ביצוע הפעילות:** בכיתה או כשעורי בית.
* **זמן משוער:** שיעור-שיעור וחצי.

**פעילות לתלמיד**

# ייצור דלק מימן בעזרת ננו-צינורות פחמן

# מזה מאות שנים עושה האנושות לצרכיה שימוש בדלקים ממאובנים – הפחם, הנפט והגז הטבעי. אולם התכלותם המהירה והזיהום שנוצר בעקבות השימוש בהם, הביא לחיפוש אחר מקורות אנרגיה חדשים. גז מימן, H2 (g), נחשב לדלק עתידי מבטיח משום שהוא מופק ממים, הזמינים תמיד, ומפני שכיום כבר קיימות טכנולוגיות המאפשרות את השימוש בו, למשל בהנעת רכב, ללא זיהום נלווה היות ובתהליך הבעירה של מימן מתקבלים רק מים. לפיכך, ברורה האטרקטיביות שלו לעומת מקורות האנרגיה המסורתיים.

# הדרך הנפוצה להפקת גז מימן בכמויות משמעותיות היא באלקטרוליזה של מים. אלקטרוליזה היא פירוק חומר בעזרת זרם חשמלי המועבר בו. באלקטרוליזה של מים נדרשת נוכחות של זרז. עד כה היו משתמשים במתכת פלטינה, Pt, כזרז בתגובה זו. אולם מדובר במתכת יקרה שהשימוש בה הפך את הפקת המימן בדרך זו ללא- כדאית מבחינה כלכלית. לכן, חוקרים רבים נרתמו לחפש אחר זרז יעיל וזול יותר לתהליך.

לאחרונה, דווחו מדענים מאוניברסיטת ראטגרס שבניו-ג'רזי, על התפתחות של המחקר שערכו בנושא. הטכנולוגיה החדשה שהם פיתחו מבוססת על זרז חדשני שרמת הביצועים שלו כמעט זהה לרמת הביצועים של הזרז היקר פלטינה. הם מצאו כי פחמן המופיע במבנה מיקרוסקופי של ננו-צינוריות נמצא כהרבה יותר יעיל מזרזים זולים אחרים שנחקרו ונוסו בתחום. בנוסף, ה ננו-צינוריות מתפקדים היטב בתנאים חומציים, ניטרליים או בסיסיים, מה שמאפשר להם לפעול במקביל לזרזים נוספים הדרושים לתהליך. לטענת החוקרים, השימוש בזרז זה מבטיח ייצור יעיל של מימן מתוך מים.

ננו-צינוריות פחמן – מה זה אומר בעצם? כידוע, לפחמן מספר צורות אלוטרופיות בטבע שהמוכרות בהן הם היהלום והגרפיט. ננו-צינוריות הן תגלית מאוחרת יחסית של צורה מיקרוסקופית נוספת של פחמן. כזכור, גרפיט בנויה משכבות דקות של אטומי פחמן הנקראות גרפן. בגרפן אטומי הפחמן קשורים זה לזה בשלושה קשרים קוולנטים, כך שהם יוצרים משושים, ולכל אטום פחמן אלקטרון שלא משתתף בקישור.

אם נסגור את הגרפן על עצמו, לצורת גליל, נקבל צינוריות פחמן. קוטרן של הצינוריות יכול להגיע לכמה ננומטרים, מכאן שמן, ואורכן נע בין מספר מיקרומטרים לכמה מילימטרים. ננו-צינוריות פחמן הן חומר חזק ועמיד בעל מוליכויות חשמל וחום גבוהות.

תכונות אלה הופכות אותן לבעלות פוטנציאל רב בתחומים מגוונים כמו: ננוטכנולוגיה, אלקטרוניקה, אופטיקה, הנדסת חומרים ועכשיו גם זירוז תגובות כימיות. החוקרים עתידים לעגן את תגליתם בפטנט, ומקווים שהשימוש בה יהפוך למסחרי בשנים הקרובות.

**פתרון השאלות**

1. א. מנו יתרון אחד וחסרון אחד לשימוש בגז מימן, H2 (g), כדלק. פרטו.

יתרון: השימוש בדלק המימן אינו גורם לזיהום בשרפה מתקבלים מים בלבד.

חסרון: יש להפיק מימן באופן קבוע כדי להפיק ממנו אנרגיה. מימן הוא חומן מסוכן שעלול להתפוצץ.

ב. השימוש בגז מימן אמור להחליף את השימוש בדלקים המאובנים. הסבירו מדוע השימוש בגז מימן לא יחליף באופן מוחלט את השימוש בדלקים מאובנים. נמקו תשובתכם.

כדי להפיק מימן יש לעשות שימוש בחשמל לאלקטרוליזה. כדי להפיק חשמל יש להשתמש בדלקי מאובנים (כפי שמתרחש בתחנות כח, למשל).

1. א. נסחו את תגובת השריפה של מימן.

 2H2O (l) 🡪 O2 (g) + 2H2 (g)

ב. ע"פ הנאמר בקטע, האם התגובה שניסחתם הינה אקסותרמית או אנדותרמית? נמקו תשובתכם.

התגובה היא אקסותרמית משום נפלטת אנרגיה וזה מה שמניע את המכונית, המכונה.

1. א. נסחו את תגובת הפירוק של מים, H2O (l) ליסודות הגזיים הבונים אותם.

 O2 (g) + H2 (g)2 🡪 H2O (l)2

ב. ע"פ הנאמר בקטע, האם התגובה שניסחתם הינה אקסותרמית או אנדותרמית? נמקו תשובתכם.

התגובה היא אנדותרמית משום שיש להשקיע אנרגיה על-מנת שתתרחש. האנרגיה היא אנרגיה חשמלית.

1. א. מולקולות מים נמצאות באופן קבוע באוויר אך אינן מתפרקות מאליהן בטמפרטורת החדר. הסבירו מדוע.

כדי שמולקולות המים תתחלנה להתפרק יש להשקיע אנרגיה התחלתית שתגרום להתנגשויות שיצרו תצמידים משופעלים, תוך התגברות על המחסום האנרגתי לתגובה. זוהי אנרגיית שפעול. בטמפרטורת החדר אין את האנרגיה הזו, ולכן התהליך אינו מתרחש.

ב. מה תפקידו של זרז? נמקו.

זרז הוא חומר המשתתף בתגובה, אך אינו מתכלה. הוא תורם בפירוק הקשרים במולקולות המגיבים ויצירת הקשרים החדשים במולקולות התוצרים. הזרז מאפשר מסלול אנרגתי חלופי לתגובה שבו מחסום אנרגיית השפעול נמוך יותר.

ג. שרטטו גרף עבור תגובת הפירוק של מים, של השינוי באנרגיית המערכת כתלות בהתקדמות התגובה ללא זרז ובנוכחות זרז. הסבירו על פי הגרף מדוע עדיף לפרק מים בנוכחות זרז.

עדיף לפרק מים בנוכחות זרז.

כי נדרשת פחות אנרגיה ל התהליך.

**5.** החוקרים ממשיכים לחפש זרזים יעילים לפירוק מולקולות מים. לפניכם גרף המסכם את תוצאות בדיקתם של שלושה זרזים (**X, Y, Z**) אפשריים לתגובה:

**קצב תגובה (מ"ל לשנייה)**

**זמן (שניות)**

**זרז X**

**זרז Y**

**זרז Z**

1. קבעו מהו הזרז היעיל ביותר שנמצא עבור התגובה? נמקו תשובתכם.

הזרז היעיל ביותר הוא זרז Z, משום שהפקת המימן מתרחשת בקצב המהיר ביותר בנוכחותו – השינוי בנפח הגז ביחידת זמן הוא הגדול ביותר.

1. הסבירו את צורת הגרף עבור זרזים Y ו-Z: מדוע הגרפים מתחילים בעלייה, ואז 'מתיישרים'? נמקו.

בשניות הראשונות הזרז נקשר אל מולקולות המים ומתחיל לפעול, לכן קצב התגובה עולה. לאחר מכן קצב התגובה נשאר קבוע משום שכמות הזרז קטנה ביחס לכמות המים, כך שקישור הזרז אל מולקולות המים מוגבל וכך גם זירוז התגובה.

1. א. מנגנון הפעולה של ננו-צינוריות פחמן כזרז אינו ידוע, אך ניתן לשער שבין היתר הוא עוזר במעברי האלקטרונים שמביאים בסופו של דבר לפירוק מולקולות המים. כיצד מבנה צינורות הננו-פחמן מאפשר מעבר אלקטרונים? הסבירו.

לפי התיאור המיקרוסקופי של הגרפן בקטע הקריאה, בננו-צינוריות פחמן כל אטום פחמן קשור בשלושה קשרים קוולנטים ובנוסף הוא בעל אלקטרון שאינו מאותר. אלקטרון זה יכול להיתרם למולקולות המים ולגרום לפירוקן.

ב. לננו-צינוריות פחמן שטח פנים גדול. הסבירו כיצד עובדה זו תורמת לפעולתם כזרז.

שטח פנים גדול מאפשר קישור בין ננו-צינורית הפחמן לבין יותר מולקולות מגיב ביחידת זמן. לכן, יותר מולקולות מגיב מפורקות ביחידת זמן וזירוז התגובה יעיל יותר.

**מקורות**

* <http://www.hayadan.org.il/produce-clean-burning-hydrogen-fuel-1507146>
* [http://news.rutgers.edu/news/rutgers-chemists-develop-technology-produce-clean-burning-hydrogen-fuel/20140713#.VVECg\_mqqkq/](%20http%3A//news.rutgers.edu/news/rutgers-chemists-develop-technology-produce-clean-burning-hydrogen-fuel/20140713#.VVECg_mqqkq/)
* רון בלונדר ועודד הוד, מנפלאות הגרפן על כימיה

<http://stwww.weizmann.ac.il/chemcenter/img/news/839.pdf>