

צמח, חיפושית וחיידק נפגשים

חוקרים גילו מערכת ייחודית של שיתוף בין צמח, חיפושית וחיידק. כל צד בשותפות מעניק לאחרים יתרונות ומאפשר לו להתקיים בסביבה הצחיחה / אורן שלף וד"ר שמעון רחמילביץ'

הנגב הוא אזור צחיח המאופיין במיעוט משקעים ובמיעוט מינרלים זמינים לצומח ולבעלי החיים, ואלו נדרשים לעשות התאמות לסביבה המדברית כדי לשרוד. לאחרונה גילו במעבדתו של ד"ר שמעון רחמילביץ' מהמכונים לחקר המדבר מערכת שבה צמח חד שנתי קיצי בשם מלחית חומה (*Salsola inermis*), חיפושית חדקונית (*Conorhynchus pistos*) וחיידק בשם *Klebsiella pneumoniae* מקיימים יחס גומלין מיוחדים אשר מאפשרים להם לשרוד בסביבה המדברית. הקשר בין מחזור החיים של החדקונית ושל הצמח נחשף בתצפיות שארכו ארבע שנים ונערכו בשדה ובחדר גידול. תוצאות המחקר פורסמו לאחרונה במגזין *PLOS one* הפתוח לקריאה ברשת. את המחקר ביצעו אורן שלף, ד"ר יעל הלמן אריאל (לייבעלע) פרידמן, ד"ר עדי בכר וד"ר שמעון רחמילביץ'.

חיידקים קושרי חנקן חיים במערכת העיכול של החדקונית, ונראה שהחדקונית מעבירה תרכובות חנקן אל הצמח באמצעות הפרשות שלה בתוך מבנה הבוץ

החדקונית חיה במבנה בוץ שהיא בונה לצד שורשי הצמח, וכך היא מרוויחה הזנה של פחמימות, מפלט מקרינת השמש, מיובש, מטורפים ומטפילים. במחקר נבדק אם הצמח שמארח את החדקונית מפסיד או מרוויח מכך. נראה היה כי החיפושית מעבירה תרכובות



כיצד אפשר לשרוד בסביבה צחיחה?
צילום: אימג'בנק

גם לצמחים מתים, שהרי יצורים אחרים ממשיכים להיות תלויים בהם. עוד חושפים הממצאים מנגנונים לא מוכרים של קיבוע חנקן. זהו המקרה השלישי בעולם שמתאר קיבוע חנקן בחיידקים החיים בתוך גופו של חרק (לפני כן תוארו חיידקים קושרי חנקן רק בזבובי פירות ובטרמיטים). לגילויים אלה יש השלכות על התנהלות חקלאית, שעושה שימוש מסיבי בדשנים. החוקרים משערים שקיימים מנגנונים טבעיים לא מוכרים של אספקת חנקן לצמח, ואולי כדאי להפנות יותר מאמצים לאיתור מנגנונים אלה וליצירת התנאים המתאימים לעידודם, כדי לחסוך בדישון מלאכותי.

חנקן אל הצמח באמצעות הפרשותיה שבתוך מבנה הבוץ. ואכן, הצמחים ששורשיהם אירחו חדקוניות הכילו זרעים כבדים יותר (שלהם סיכוי גדול יותר לנבוט) מאשר שכניהם - משמע, גם הצמח מרוויח. נוסף על כך, החוקרים רצו לבדוק כיצד החיפושית הופכת חנקן מהאוויר לחנקן זמין. האוויר שלנו מכיל קרוב ל-80 אחוז חנקן, אבל בצורתו כגז הוא אינו זמין לצמח, שזקוק לו לבניית חלבונים ומולקולות אורגניות אחרות. הם מצאו חיידקים קושרי חנקן שחיים במערכת העיכול של החדקונית ומאפשרים מעבר של חנקן זמין מהחיפושית אל הצמח. המחקר ממחיש את תפקידם האקולוגי של צמחים חד שנתיים גם לאחר מותם. במהלך המחקר מצאו החוקרים חיפושיות שחיות מתחת לאדמה, על גבי שורשיו של צמח מת. החוקרים הסיקו מכך כי כאשר חושבים על שמירת טבע, כדאי לשים לב

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

לקריאה נוספת



המאמר המקורי: bit.ly/1l9badm

דלק סינתטי ירוק

חוקרים ברחבי העולם עובדים על פיתוח סוגי דלק סינתטיים שיהיה אפשר לייצר בתהליך ירוק ובעלויות דומות לאלו של ייצור דלק מנפט גולמי. צוות חוקרים ישראלי מאמין כי פיתח בהצלחה תהליך אשר יגמול אותנו מהתלות בנפט הגולמי המזהם / עידו גנוט

ומתרחב השימוש בכימסה (חומר אורגני שמופק ברובו מגידולים חקלאיים), אלא שעליית מחירי המזון בעולם בשנים האחרונות מקשה מאוד על היכולת לייצר כמויות גדולות של דלק מסוג זה. כנראה שהשימוש בכימסה לא יוכל, אם כן, לענות בשנים הקרובות על הצורך העולמי ההולך וגדל לדלק, ובעולם שבו סוגי הדלק המחצביים הולכים ומידלדלים, ורבים מהם שוכנים באזורים כעייתיים מבחינה גיאופוליטית, נדרשות חלופות אחרות.

"השאלות המרכזיות לגבי ייצור דלק נוזלי לתחבורה במאה ה־21 עוסקות בקיימות ובסביבה. הדלק המחצבי המאובן, גם אם קיים בכמויות עצומות שיספיקו לעשרות שנים, היקפו מוגבל בסופו של דבר, והוא מופק במדינות שחלקן עוינות לעולם המערבי"

שימש במלחמת העולם השנייה

אחת החלופות המרכזיות הנבחנות כיום ברחבי העולם היא דלק נוזלי סינתטי (מכונה לעתים Synfuel). אף שיש המגדירים גם ביומסה כדלק סינתטי, המונח משמש בדרך כלל לציון דלק נוזלי שמקורו בפחם או בגז טבעי. תהליכי ההפקה של דלק סינתטי פותחו כבר

וקרים ברחבי העולם עובדים על פיתוח סוגי דלק סינתטיים שייצרו בתהליך ירוק ובעלויות דומות לאלו של ייצור דלק מנפט גולמי. פתרון לבעיה זו צפוי להשפיע לא רק על שוק האנרגיה העולמי, אלא גם על הכלכלה ועל מאזן הכוחות העולמי. אחרי שנים של מחקר וניסויים, צוות חוקרים ישראלי מאמין כי פיתח בהצלחה תהליך שיגמול אותנו כבר בעוד כמה שנים מהתלות בנפט הגולמי המזהם.

מחקר המתנהל בימים אלו במרכז בלשנר באוניברסיטת בן-גוריון בנגב עוסק בפיתוח תהליך סינתטי לדלק שיוצר בתהליך ירוק ועשוי לצמצם באופן דרמטי את התלות במאגרי הנפט הגולמי ההולכים ומידלדלים. אף שבחלקים ממשקי האנרגיה ברחבי העולם נעשים מאמצים גדולים לעבור לשימוש במקורות אנרגיה לא מתכלים ופחות מזהמים, שוק התחבורה צפוי כנראה להמשיך להסתמך על מנועים שורפי דלק גם בעשורים הקרובים. על פי תחזית שפרסמה לאחרונה מחלקת האנרגיה של ארצות הברית, עד לשנת 2035 רק חמישה אחוזים מכלי הרכב שיימכרו בשוק יונעו באנרגיה חשמלית, והרוב המוחלט של כלי הרכב ימשיכו להתבסס בצורה כזו או אחרת על סוגים שונים של דלק. כמו כן, הצורך בדלק למטוסים ולתחבורה הכבדה רק ילך ויגבר. לפיכך מתקיים בעולם מירוץ לחיפוש מקורות דלק חלופיים. במדינות שונות, וברזיל בראשן, הולך



בשנות ה־20 של המאה הקודמת. מכונת המלחמה הגרמנית עשתה שימוש נרחב בייצור דלקים סינתטיים בתקופת מלחמת העולם השנייה. בהיעדר מקורות זמינים לדלק מנפט גולמי ולאור הצורך האדיר בדלק לטובת הפעילות המלחמתית, בנו הגרמנים עשרות מפעלים להמרה של פחם וגז לדלק נוזלי. לכל אורך המלחמה היו מפעלים אלו מטרה בעדיפות עליונה להתקפות של בעלות הברית. בשנים שאחרי מלחמת העולם השנייה החלו להופיע בשוקי העולם כמויות גדולות



עולם חדש ירוק
צילום: Shutterstock

ובשימוש בדלק ממקור מחצבי. מסיבה זו, ובהיעדר חלופות תחבורתיות של ממש בעתיד הנראה לעין, צוותים רבים ברחבי העולם עובדים כיום על פיתוח חלופות דלק סינתטיות. עם הצוותים הללו נמנה צוותו של פרופ' מוטי הרשקוביץ, פרופ' מירון לנדאו וד"ר רוקסנה וידרוק, שלושתם ממרכז בלשנר ומהמחלקה להנדסה כימית באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. בראיון שקיימנו עם פרופ' הרשקוביץ, הוא ניאות לחשוף בפנינו את הפיתוח אשר עשוי

והולכות של דלק נוזלי מנפט גולמי זול (חלק גדול ממנו הופק מבארות הנפט העצומים באזור המפרץ הפרסי), מחירי הדלק ירדו, ואיתם ירד העניין בייצור דלק סינתטי ובהשקעות בפיתוחו. בשנים האחרונות אנו עדים לעלייה תלולה מאוד במחירי הדלק הנוזלי (מחירה של חבית נפט עומד כיום על כ-100 דולר לעומת שפל של כ-20 דולר בסוף שנות ה-90 של המאה ה-20). נוסף על כך קיימת מודעות גוברת והולכת להשלכות הסביבתיות הקשות הקשורות בייצור



מערכת מעבדתית בפעולה,

מרכז בלשנר

צילום: אוניברסיטת בן-גוריון

מתחדש (אנרגיה סולרית, רוח או מקורות אחרים) לשם פירוק המים ולתהליך הפיכת המימן וה- CO_2 לדלק. מושקע מאמץ עצום בפירוק מים למימן ולחמצן על ידי אנרגיית השמש. אלקטרוליזה היא השיטה היחידה שמיושמת היום בהצלחה בקנה מידה מסחרי, והיא צפויה להשתפר משמעותית בשנים הקרובות.

כיצד פועל התהליך ומהם השלבים בו? "מדובר בתהליך קטליטי שמתבצע על גרגירי מוצק נקבוכי עם פני שטח בעלי פעילות קטליטית. המוצק הקטליטי פותח על בסיס מחקר ננו-טכנולוגי על ידי שימוש במיטב שיטות ההכנה והאפיון. הוא בעל מבנה גבישי מיוחד, ומכיל מרכיבים נפוצים וזולים מאוד, כמו תחמוצות של ברזל ואלומיניום. הקטליזטור המוצק ארוז בצניורות שבהם מוזרמים המגיבים, מימן ו- CO_2 . התגובות שמתרחשות על פני הקטליזטור בטמפרטורה של 300-340 מעלות צלזיוס ובלחץ של 10-20 אטמוספרות, מניבות פחמימנים שמהווים מרכיבים של דלק נוזלי (התהליך נעשה בטמפרטורה גבוהה ובלחץ גבוה תוך שימוש בקטליזטור ובמהלכו נוצרים פחמימנים = דלק). התהליך מתבצע בכמה צינורות בטור, עם הפרדה של מים בין הצינורות. התוצר של התהליך, חלקו נוזלי וחלקו גזי, נקרא הזנה ירוקה, והוא מוזן לתהליך נוסף שהופך אותו לדלק נוזלי. על הקטליזטור ועל התהליך הוגשה בקשה לרישום פטנט."

מדוע התהליך שתיארת הוא ירוק? "התהליך המוצע משתמש במים ו- CO_2 כחומרי גלם, ויש כוונה להשתמש באנרגיה ירוקה לפירוק המים. לכן הוא ירוק יותר מכל תהליך אחר. הנפט, או כל מקור מחצבי מאובן אחר כמו גז טבעי, פולטים גז חממה במהלך השרפה. התהליך המוצע קולט CO_2 שנפלט בשרפה, כך שעקרונית אין פליטה נטו לאוויר. המקור של הפחמן הדרו חמצני הוא בתהליכים שפולטים אותו בכמויות עצומות, תהליכים

להוביל למהפכה בשוק האנרגיה. יש טכנולוגיות רבות לייצור מלאכותי של דלק. מה ייחודי בשיטה שלכם? "מבחר עצום של תהליכים נמצאים בשלבים שונים של פיתוח ומבוססים על ביומסה על כל גווניה. התהליכים שיושמו בעשור האחרון הן הפיכת קנה סוכר ותירס לאתנול והפיכת שמנים מהצומח והחי לדיזל סינתטי. הבעיה שקיימת בכל התהליכים למיניהם היא הצורך לגדל את הביומסה שמהווה תחרות עם גידול מקורות למזון, ומחייבת שימוש בתשומות כאדמה ומים שדרושות לצורכי קיום אחרים. צפוי שבטווח הרחוק השימוש בפסולת ביומסה יהווה אפיק עיקרי לייצור דלק.

"השאלות המרכזיות במאה ה-21 לגבי ייצור דלק נוזלי לתחבורה - בניזון, דס"ל (דלק סילוני) ודיזל - עוסקות בקיימות ובסביבה. הנפט הגולמי המחצבי המאובן, גם אם קיים בכמויות עצומות שיספיקו לעשרות שנים, היקפו מוגבל בסופו של דבר, והוא מופק במדינות מסוימות, שחלקן עוינות לעולם המערבי. ההשפעות של CO_2 , שנחשב לגז חממה, על האקלים, עלולות להיות בלתי הפיכות והרות אסון. אמנם בינתיים מתנהל ויכוח נוקב על ההשפעות הסביבתיות, ויכוח שלא הוכרע, אולם ההוכחות שמצטברות יחייבו את המדינות השונות לנקוט צעדים משמעותיים לצמצום הפליטה. יש לקחת בחשבון גם את הפיתוח המואץ של דרום-מזרח אסיה, בעיקר סין והודו, שפירושו שימוש מוגבר בדלק ויותר פליטת גזי חממה. ביומסה כמקור לדלק בעייתית בגלל הבעיות שקשורות לתחרות עם המזון וההשפעות הסביבתיות הצפויות. "כאן מגיעים לשאלה: מה יכול לעבוד בטווח הארוך? דלק מורכב משני יסודות: פחמן ומימן. אחד המקורות הנפוצים לפחמן הוא CO_2 . המקור הנפוץ למימן הוא מים. לכן אך טבעי לחבר את המימן שמקורו במים עם הפחמן שמקורו ב- CO_2 . מה שדרוש כדי לבצע זאת הוא מקור אנרגיה

שמתרחשים בתחנות כוח או במפעלי מלט למשל. דוח רשמי של האו"ם מצביע על חריגה משמעותית מהסף הקריטי לפגיעה משמעותית וארוכת טווח בכדור הארץ, וצופה כי יידרשו השקעות עצומות בעתיד כדי לשקם את הפגיעה אם לא תהיה הפחתה משמעותית בעתיד הקרוב בכמות פליטת הפחמן הדרו חמצני. הטכנולוגיות המאפשרות הפרדת פחמן דו חמצני יעילות מאוד, ומיושמות בקנה מידה מסחרי. בגרמניה כבר היום מפרידים אותו. דבר זה תלוי בהפעלת מס פחמן."

בסופו של דבר, היכולת של התהליך שפיתחתם להיות ירוק תלויה ביכולת להפיק אנרגיה ירוקה ממקורות מתחדשים (שמש, רוח וכו'). אף שבשנים האחרונות יש התקדמות רבה בתחום, אלקטרוליזה זקוקה להשקעה אנרגטית רבה, דבר שעשוי לדרוש הקמה של מתקני ייצור חשמל ירוקים בהיקף גדול ובהשקעה משמעותית. איך אתם רואים את הנושא? "ייצור דלק ירוק הוא אכן יקר יחסית כיום. עם זאת אפשר לאתר אפשרויות עסקיות ליישום הטכנולוגיה בטווח הקצר. אנו מנהלים משא ומתן על כמה מיומים עסקיים. חשוב לזכור שפיתוח טכנולוגיה כזאת ליישום מסחרי לוקח שנים. במקביל מתקיים מאמץ עצום לפיתוח טכנולוגיות ירוקות לייצור מימן

ייצור סינתטי של דלק – יתרונות:

◀ היכולת לייצר דלק בכל מקום כמעט: נפט גולמי מופק כיום בכמויות משמעותיות רק במספר מצומצם של מדינות (כדוגמת ערב הסעודית ואירן), דבר המקנה להן כוח כלכלי ופוליטי רב. הדלק הסינתטי הירוק יכול להיות מיוצר בכל מקום ללא צורך בהובלת הדלק למרחקים גדולים.

◀ אף שהתוצר הסופי של התהליך (הדלק הסינתטי) דומה בתכונותיו לדלק מנפט גולמי – תהליך הייצור שלו צפוי להתבסס על אנרגיה ירוקה, והוא עצמו ינצל פחמן דו חמצני הנפלט ממפעלים ובכך יביא לצמצום משמעותי בפליטות גזי החממה – מהגורמים המרכזיים לשינוי האקלים ולבעיות הסביבתיות שנגרמות ממנו.

◀ השימוש בדלק הסינתטי יאפשר שליטה על מחירי הדלק. ביזור ייצור הדלק ימנע מצבים שבהם אי יציבות פוליטית או צבאית יובילו לעלויות פתאומיות במחירי הנפט בעולם, כפי שקורה כיום, ושיפורים טכנולוגיים עתידיים בתחום ייצור האנרגיה הירוקה יוזילו בהמשך את עלויות ייצור הדלק.

◀ בשונה מסוגי דלק המבוססים על גידולים חקלאיים (כדוגמת אתנול ומתנול המשמשים כיום במיוחד בדרום אמריקה), הדלק הסינתטי שמפתחים באוניברסיטת בן-גוריון אינו בא על חשבון שטחי גידול למזון.

במחיר החשמל הירוק. אפשר להגיע למחיר הקרוב למחיר הדלק שמיוצר מנפט באותם מקרים שבהם אפשר להפיק חשמל ירוק במחיר נמוך. מכיוון שהאפשרויות להפיק חשמל ירוק זול מוגבלות, אנו כוחנים הזדמנויות לבדוק מסחרית את התהליך שלנו על ידי שילובו עם תהליכים אחרים". מהיכן הגיע המימון למחקר ואיפה הוא עומד כרגע?

"המימון הגיע מקרנות מחקר: הקרן הפנימית של מרכז בלשנר, הקרן הלאומית למדע, I-CORE, I-SAEF. החלטנו לא לערב שום גורם עסקי בפיתוח, ולכן הקניין הרוחני הוא של אוניברסיטת בן-גוריון בנגב באמצעות חברת היישום שלה, ב.ג. נגב טכנולוגיות".

באילו מתקני ייצור אמור להתבצע התהליך המסחרי?

"מתקני הייצור הדרושים דומים לאלה הקיימים בכתי הזיקוק, אולם יישום התהליך הזה מחייב גישה למקורות חומרי הגלם. לכן צפוי שמתקנים חדשים יוקמו קרוב למקורות זמינים של CO₂".

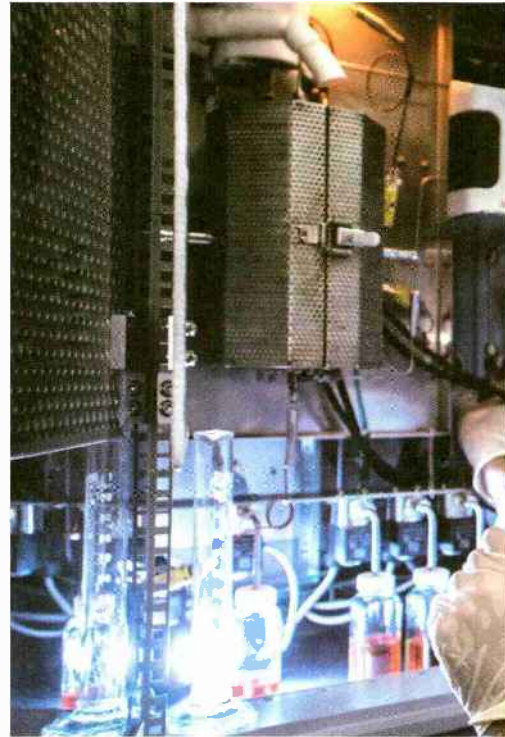
מתי אתה צופה שיוכל להתחיל ייצור מסחרי ואילו אתגרים עדיין ניצבים בפניכם?

"התהליך צריך להיבדק במתקן הדגמה שתיבחן בו ההיתכנות הטכנולוגית והכלכלית. התוכנית היא להגיע למתקן הדגמה תוך שלוש שנים ולמתקן ייצור בטווח של חמש עד עשר שנים".

עידו גנוט הוא דוקטורנט לפילוסופיה של המדע ומייסד אתר המדע והטכנולוגיה בשפה האנגלית The Future of Thing. משמש היום כעורך אתר הצילום הישראלי megapixel.

לקריאה נוספת:

פרטים על מרכז בלשנר ופיתוח תהליכים באוניברסיטת בן-גוריון: bit.ly/JBltei; bit.ly/1lqDAQp



ממים. ייתכן שהפיתוח יואץ כתוצאה מפריצות דרך טכנולוגיות או החלטות ממשלתיות. אנחנו חייבים להיות מוכנים ליישום בהיקף משמעותי. לסיכום, במהלך 20 השנים הבאות מספר מצומצם של טכנולוגיות לייצור דלק ירוק ישלטו בשוק התחבורה, כפי שטכנולוגיות הייצור מנפט גולמי היו כמעט בלעדיות במאה ה-20 ובתחילת המאה ה-21. הטכנולוגיה שלנו תתחרה על נתח בשוק הזה עם הטכנולוגיות האחרות".

האם בוצעו עד כה ניסויים ובאיזה היקף? "הקטליזטור והתהליך פותחו על בסיס ניסויים שהתבצעו בריאקטורים מעבדתיים במהלך ארבע השנים האחרונות".

מהן עלויות הייצור בטכנולוגיה שלכם בהשוואה לעלויות הפקת דלק מנפט גולמי כיום?
"עלויות הפקת הנפט נמוכות מאוד. עובדה שלפני שני עשורים מחיר הנפט היה פחות מ-20 דולר לחבית. מחיר של 100 דולר לחבית מאפשר רווח מקסימלי לחברות הנפט, תוך כדי שמירה על מחיר תחרותי ביחס לתחליפים סינתטיים. לכן באירופה ובארצות הברית יש חוקים שמחייבים שימוש באחוז מסוים של תחליפי נפט. דבר זה מאפשר לקיים ייצור תחרותי של אתנול וריזל סינתטי. עלות התהליך המוצע תלויה במחיר הפקת המימן ממים, שתלוי מצדו

טיעונים מודרניים בעד דואליזם

גם לנוכח הדומיננטיות של המדע בהגות הפילוסופית העכשווית, יש עדיין פילוסופים שמחזיקים בעמדות דואליסטיות בנוגע לנפש. מהם נימוקיהם? / מריס כהן

עמדות דואליסטיות בפילוסופיה של הנפש, שלפיהן יש בעולם שתי מהויות, האחת חומרית והאחת רוחנית, ושלנפש, בניגוד לגוף החומרי, יש מהות רוחנית, קוסמות לאנשים רבים. קסמן של עמדות אלו נובע הן מאינטואיציות שיש לנו כאשר להתנסויותינו הנפשיות (כמו חוויית צבע או צליל, כאב, אהבה וכו'), שאנו תופשים אותן כשונות מהגופים החומריים שסביבנו, והן משום שאם הנפש אינה חומרית, הדבר פותח פתח לאפשרות שמהותנו הרוחנית תשרוד את מותנו הפיזי (מה שתואם אמונות דתיות רבות). אלא שהמדע המודרני דחק באופן הדרגתי את העמדות הדואליסטיות לשוליים. המדע מכיר בקיומו של החומר, ובכלל זה באנרגיה לסוגיה השונים, אולם אינו כולל בתיאוריות שלו מהות רוחנית, כי אין הוא נזקק לה בתיאור הטבע, ושום תצפית או ניסוי אינם יכולים להצביע על קיומה. עם זאת, גם לנוכח הדומיננטיות של המדע בהגות הפילוסופית העכשווית, יש עדיין פילוסופים שמחזיקים בעמדות דואליסטיות כאשר לנפש. נתאר אחדים מהטיעונים שהם מציעים לחיזוק עמדתם.

טיעון הידע

הפילוסוף האוסטרלי בן זמננו פרנק ג'קסון (Jackson) מציע את ניסוי המחשבה הזה: דמיינו לכם מדענית בשם מרי, אשר כל חייה גדלה בסביבה נטולת הצבע האדום (אולי כחלק מניסוי מדעי), ואשר

מתמחה בנוירופיזיולוגיה של ראיית צבעים. כמומחית לנושא היא יודעת את כל העובדות הפיזיקליות שקשורות להתנסות בצבעים ככלל, ולהתנסות בצבע האדום בפרט. כלומר, היא יודעת לפרטי פרטים את מה שקורה במוח כאשר אדם רואה צבע אדום. עכשיו תארו לכם, אומר ג'קסון, שיום אחד מישהו מציג בפניה עגבנייה. "אה!" אומרת מרי, "אז ככה נראה אדום!". תגובה זו של המדענית בניסוי החשיבה שלנו נובעת מכך שלמרות כל הידע שיש לה על הפעילות המוחית שקשורה להתנסות בראיית צבעים, מאחר שהיא בעצמה מעולם לא התנסתה בראיית אדום, התנסות זו היא חדשה עבורה. היא למדה משהו חדש, משהו שלא הכירה למרות ידיעתה את כל העובדות הפיזיקליות הרלוונטיות. המסקנה מניסוי חשיבה זה, טוען ג'קסון, היא שהתנסות בראיית צבע (כמשל להתנסויות נפשיות ככלל), אינה עובדה פיזיקלית. מכאן שעובדות פיזיקליות אינן מספיקות לתיאור העולם, והתנסויותינו הנפשיות אינן חומריות אלא רוחניות.

טיעון הזומבי

בפילוסופיה של הנפש, המושג זומבי מתייחס לאפשרות התיאורטית של קיום אדם אשר פיזיקלית ופונקציונלית אינו נבדל מאדם רגיל, אך הוא חסר התנסויות נפשיות. מאחר שאדם כזה אינו נבדל פיזיקלית מאדם רגיל, טוענים פילוסופים

אחרים, ובהם הפילוסוף האוסטרלי בן זמננו דיוויד צ'למרס (Chalmers), הוא גם יתפקד כאדם רגיל: יאכל, ילך, ידבר, ואפילו יתנהג כאילו יש לו התנסויות נפשיות - כך למשל, הוא ידע להבדיל בין צבעים שונים כי מערכת עצבי החישה שלו והמוח שלו יתפקדו כמוחו של אדם רגיל;





האם הנפש שלנו חומרית או רוחנית?

צילום: Shutterstock

מתנסה בחוויית הצבע, וגם אם הוא אומר "זה כואב" (ואף משמיע אנחה קורעת לב), אין הוא מתנסה בתחושת כאב. הזומבי הוא אדם ללא עולם פנימי, אף שאין הוא נכדל פיזית ופונקציונלית מאדם אחר. אבל אם אדם יכול לתפקד באופן רגיל לגמרי ללא התנסויות נפשיות, אין מנוס מלהסיק,

הוא יתלונן על כאב ראש משום שהחלק במוחו השולט על מנגנון הדיבור פועל כמו אצל אדם רגיל ומקושר למערכת העצבים שפעילה באותו אופן שמערכת העצבים של אדם רגיל פועלת כאשר הוא חש בכאב, וכן הלאה. ואולם הזומבי, טוען צ'למרס, גם אם הוא אומר "זה כחול", אין הוא

כמובן שלהתנגדויות אלו יש תשובות מתאימות של חסידי הדואליזם, שגוררות התנגדויות נוספות מצד חסידי המטריאליזם (העמדה שלפיה מהותו של העולם היא חומרית בלבד), ונכון להיום הוויכוח בין שני הצדדים עדיין נמשך ללא הכרעה.

ד"ר מריס כהן הוא חבר סגל במחלקה למדעי הקוגניציה באוניברסיטת בן-גוריון בנגב.

מילון מושגים

אפיסטמולוגי שקשור לידיעה או לאופן שבו אנו תופשים דברים. "אפיסטמולוגיה" היא תורת הידיעה, או תורת ההכרה. בפילוסופיה מנגידים לעתים את האפיסטמולוגי למטפיזי (ראו להלן).

דואליזם גוף-נפש העמדה הפילוסופית שלפיה הגוף והנפש הן שתי מהויות שונות - הגוף חומרי והנפש רוחנית.

התנסות נפשית מה ששייך לעולמנו הפנימי: הרגשה, תחושה וכיוצא בזה.

זומבי (כמונח בפילוסופיה של הנפש) אדם (תיאורטי) שאינו נבדל מאדם רגיל מבחינה פיזיקלית ופונקציונלית, אך הוא חסר התנסויות נפשיות.

מטפיזי שקשור למהותם של דברים בעולם. בפילוסופיה מנגידים לעתים את המטפיזי לאפיסטמולוגי (ראו לעיל).

מטריאליזם העמדה שלפיה מהותו של העולם היא חומרית בלבד.

רוחני לא חומרי, בעיקר בהקשר של הנפש.

התנגדויות אפשריות

נגד טיעון הידע של ג'קסון אפשר לטעון שהתנסות נפשית אינה עובדה (זו עובדה שכואבת לי היד, אבל הכאב עצמו אינו עובדה). כאשר מרי התנסתה לראשונה בראיית אדום, היא אכן למדה משהו חדש, אולם היא לא למדה עובדה חדשה, אלא איך זה להתנסות כאדום. מרי אכן יודעת (וידעה עוד קודם לכן) את כל העובדות הקשורות להתנסות בצבע אדום, ואין עובדות חדשות אשר למדה כשראתה עגבנייה, אף כי החוויה עצמה הייתה חדשה לה. מאחר שההתנסות הנפשית עצמה אינה עובדה, אי אפשר להסיק מניסוי המחשבה הזה שעובדות פיזיקליות אינן מספיקות לתיאור העולם.

ההתנגדות המרכזית לטיעון הזומבי מסתמכת על הטענה שגם אם אנו יכולים לרמזין לעצמנו אדם שפיזיקלית ופונקציונלית אינו שונה מאדם רגיל, אך הוא חסר התנסויות נפשיות, אין זה אומר שזה אפשרי בפועל. למעשה, אם נניח שמצבים נפשיים נוצרים באופן כלשהו כתוצאה מהפעילות המוחית שלנו, הרי שכל אדם שפיזיקלית ופונקציונלית אינו שונה מאדם רגיל יהיה בהכרח בעל התנסויות נפשיות. על כן זומבים אינם יכולים להתקיים, ואין הם יכולים לשמש בסיס לחיזוק העמדה הדואליסטית. על הפער ההסברי של לוין אפשר לטעון שמדובר בפער אפיסטמולוגי ולא בפער מטפיזי. כלומר, העובדה שאי אפשר להסביר התנסויות נפשיות כמונחים פיזיקליים היא מגבלה של הידע שלנו או מגבלה קוגניטיבית שלנו, ולא מגבלה שנובעת מתכונות העולם. אפשר, אומרים המתנגדים לטיעון, שאם וכאשר יהיה בידינו הידע הנירולוגי המתאים, נוכל לסגור את הפער ההסברי. וגם אם לא נצליח לעשות זאת, זה יהיה אך ורק בגלל מגבלות שלנו, ואי אפשר להסיק מכך על העולם עצמו.

אומר צ'למרס, שהתנסויות נפשיות הן משהו מעבר למערכות הפיזיקליות אשר מאפשרות את התפקודים השונים שלנו: תנועה, חישה, דיבור ואפילו חשיבה. התנסויות נפשיות הן על כן רוחניות.

המדע מכיר בקיומו של החומר, ובכלל זה באנרגיה לסוגיה השונים, אולם אינו כולל בתיאוריות שלו מהות רוחנית, כי אין הוא נזקק לה בתיאור הטבע, ושום תצפית או ניסוי אינם יכולים להצביע על קיומה

טיעון הפער ההסברי

הפילוסוף האמריקאי בן זמננו ג'וזף לוין (Levine) טען שאין אפשרות להסביר התנסויות נפשיות כמונחים שלקוחים מהעולם הפיזיקלי. כפי שלא נוכל להסביר לעיוור מלידה מהו צבע או לחירש מלידה מהו צליל, הרי שהדרך היחידה להבין מהי התנסות נפשית מסוימת היא להתנסות בה. הפער ההסברי הזה, טוען לוין, הוא עקרוני, ואין זה משנה עד כמה תהיה לנו הבנה של פעילות המוח. שום תיאור של פעילות מוחית אינו מסוגל להסביר את חוויית הכאב או את חוויית הצבע. אם נשווה זאת לפעילות של מכונה מורכבת כמו מחשב, הרי שכל דבר שמחשב עושה אפשר להסביר כמונחים פיזיקליים. התנסויות נפשיות, לעומת זאת, יוצרות פער הסברי שאינו אפשרי לגישור עם עולם המונחים הפיזיקליים. פילוסופים אחרים טענו שעובדה זו, שאין אפשרות עקרונית לגשר על הפער הזה, מחזקת את הטענה שמצבים נפשיים אינם חומריים, והמסקנה היא: דואליזם גוף-נפש.