



כימיה ותזונה

ד"ר רות בן-צבי
המחלקה להוראת המדעים
מכון ויצמן למדע



מדוע אנחנו חייבים לאכול כל הזמן? לכאורה זו שאלה טיפשית כיוון שכולנו התרגלנו למצב בו אנו אוכלים מדי יום ביומו. חלק מכם וודאי גדל על האימרה: "תאכלו! תאכלו! זה בריא! תאכלו כדי שתהיו גדולים וחזקים!!". אם תחשבו על כך, אמירה זו נכונה. תינוקות, וגם ילדים זקוקים למזון כדי לגדול, כלומר כדי שגופם יתפתח כראוי. אבל מה קורה לאחר

מכן, כאשר אנו כבר גדולים וחזקים? שוב. תמיד אמרו לנו שאם אנחנו עובדים, או רצים, או מתעמלים, עלינו לאכול כדי להחזיר לגופנו את האנרגיה שניצלנו. אך מה בדיוק הקשר בין מזון ואנרגיה?

נתחיל במזון

בלימודיכם שמעתם, אולי, את הביטוי "מטבוליזם" המתורגם לעברית למושג "חילוף חומרים". זהו מושג ציורי המתאר בצורה יפה ביותר את המתרחש בגופנו. אנו ניזונים מחומרי מזון, שהם חומרים בעלי מבנה מסובך ביותר – פחמימות (סוכרים), חלבונים, שומנים. הגוף מנצל את המזון לכמה מטרות אשר באופן כללי ניתן למיין לשני סוגים:

- יצירת חומרים הדרושים לתיפקוד התקין של הגוף.
- קבלת אנרגיה הדרושה לתיפקוד התקין של הגוף.

הסוג הראשון מתואר בספר (Lehninger, Nelson & Cox: "Principles of Biochemistry") המגדיר מטבוליזם באופן הבא: "מטבוליזם הוא תהליך תאי מכוון ומתואם שבו מנגנונים רבי אנזימים

פועלים יחד לביצוע של ארבע מטלות (אנזים – זרז חלבוני המאפשר קיומן של תגובות כימיות בתנאי הגוף החי):

- לכלוא את אנרגיית השמש הניתנת לניצול (בצמחים) או לקבלה מחומרי מזון עתירי אנרגיה.
 - להפוך את מולקולות המזון למולקולות המהוות חלק מן המבנה התאי, כולל חומרי מוצא ליצירת מקרומולקולות.
 - ליצור מחומרי המוצא הללו מקרומולקולות כגון חלבונים, חומצות גרעין, שומנים, רב-סוכרים ומרכיבי תא אחרים.
 - ליצור ולפרק מולקולות הדרושות לתיפקוד הנורמלי של התאים השונים.
- אנו אוכלים סוגים שונים של מזון: חלבונים, שומנים וסוכרים וכן חומרי קורט – ויטמינים לסוגיהם ומינרלים (מלחים) שונים. החלבונים, השומנים והסוכרים הללו הם גם המרכיבים העיקריים של גופנו:
- חלבונים מעורבים בכל התהליכים בגוף וניתן לחלקם לחלבוני איכסון (כמו בביצה), חלבוני מבנה (גידים וסחוס וכן קורי עכביש ומשי), וחלבוני הגנה (במערכת החיסון). החלבונים משמשים גם להובלה, (כמו ההמוגלובין האחראי להעברת חמצן ופחמן דו-חמצני במחזור הדם) וכהורמונים המשמשים לוויסות תהליכים. גם האנזימים המאפשרים את כל מיגוון התהליכים בגוף הם חלבונים.
 - השומנים מאופיינים על-ידי חוסר מסיסותם במים. תכונה זו מאפשרת להם להיות מרכיב עיקרי בכל קרומי התאים. כמו-כן יש להם תפקיד חשוב במאזני האנרגיה בגוף.
 - הסוכרים מתחלקים לכמה סוגים עיקריים – רב-סוכרים כמו עמילן (בצמחים) וגליקוגן (בבעלי-חיים) משמשים כמאגרי אנרגיה, רב-סוכרים אחרים כמו צלולוז וכיטין משמשים כחומרי בנין ותמיכה בתאים, ומולקולות קטנות – דו-סוכרים (כמו סוכרוז שהוא ה"סוכר" שאנו צורכים יום-יום), או חד-סוכר (כמו הגלוקוז שלו תפקיד חשוב במטבוליזם של הצומח והחי).

האיור הבא מביא סיכום חלקי של מרכיבי המזון ותיפקודם בגוף.

צריכת מזון מאוזנת	התיפקוד בגוף
סוכרים (330 גרם ליום)	מקור האנרגיה העיקרי, מקור לסיבים תזונתיים
חלבונים (100 גרם ליום)	חומרי מבנה חשובים, זרזים
שומנים (75 גרם ליום)	איחסון אנרגיה, בידוד תרמי, מרכיב בקרומי התא
מים (2000 גרם ליום)	ממס שבו מועברים חומרים, ויסות טמפרטורה
ויטמינים (כ-300 מיליגרם ליום)	מאפשרים תגובות כימיות בגוף
מינרלים (5-10 גרם ליום)	פעילות עצבית, בניית עצם, מסייעים לפעילות אנזימים



באתרים הבאים תמצאו מידע אודות תזונה נכונה :

אתר של משרד הבריאות נותן מידע כללי

<http://www.health.gov.il/units/education/catalog/diet.htm#e>

מאמר כללי על תזונה

<http://www.miok.co.il/Condition.asp?n=184&md=9999&sm=999#parag180>

אתר הדן בהרגלי תזונה נכונים

<http://lib.cet.ac.il/Pages/item.asp?item=1660>

חישוב קלוריות לכל ארוחה

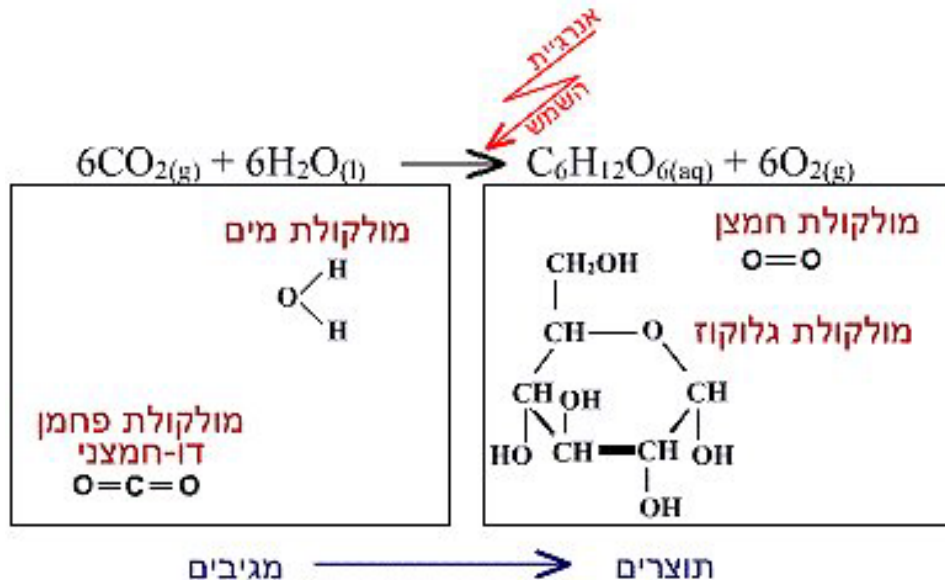
http://www.miok.co.il/Calorie_index.asp?sm=11&md=4&type=no&tm=411#

ערכים קלוריים ליום

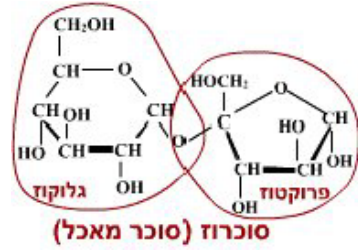
<http://megadim.ort.org.il/sp/tips/kal.htm>

אנו נתרכז בהמשך במטרה השנייה של ניצול המזון – קבלת אנרגיה הדרושה לתיפקוד התקין של הגוף. עד כאן הוזכרו, על קצה המזלג, כמה מן החומרים המשתתפים במטבוליזם של הגוף, אך טרם ענינו על השאלה, "מה לכל זאת ולאנרגיה?"

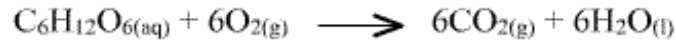
כדי לענות על שאלה זו נתרכז בחומר אחד – בגלוקוז, שימש לנו כדוגמה לחומר מזון. הגלוקוז נוצר על-ידי צמחים בתהליך הפוטוסינתזה:



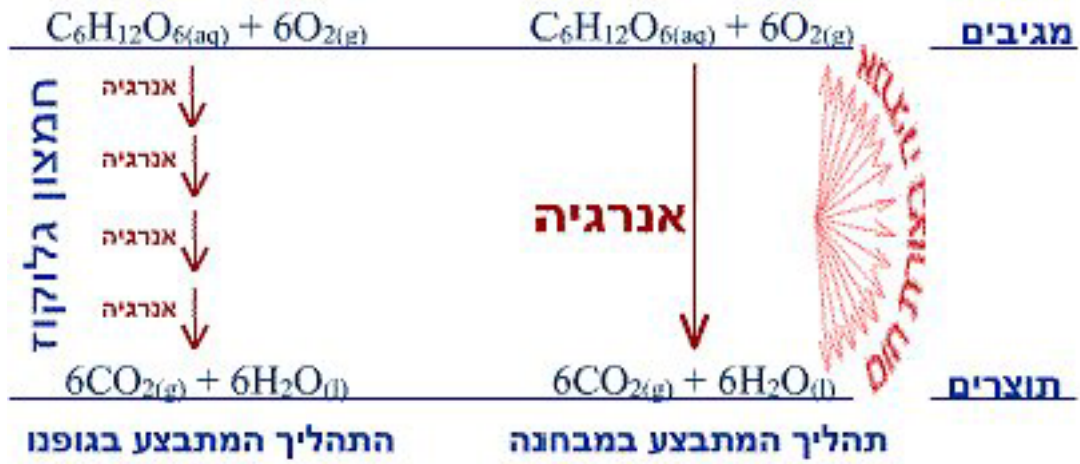
בתהליך זה "כולאים" הצמחים את אנרגיית השמש ויוצרים גלוקוז וחמצן מפחמן דו-חמצני ומים. הגלוקוז משמש לנו כחומר מזון בהיותו חלק מן החומר סוכרוז – סוכר מאכל (איור מימין).



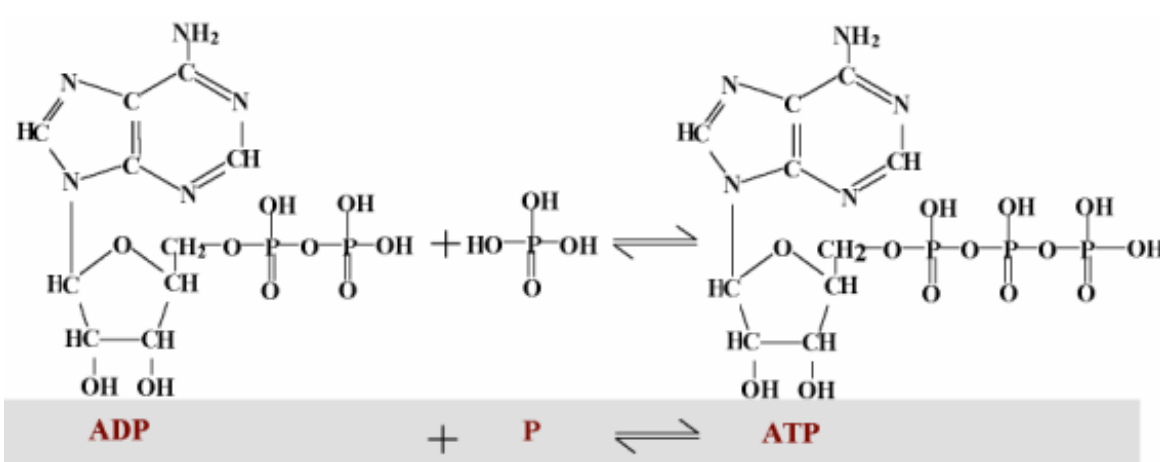
אם תעבירו מעט גלוקוז למבחנה ותחזיקו אותה בזהירות מעל ללהבה, תבחינו כי החומר מתלקח ובעירתו משתחררת אנרגיה רבה בצורת חום (וגם אור). ניסוח תגובת הבעירה של גלוקוז הוא:



בגופנו מתרחשת תגובה דומה לשריפת הגלוקוז במבחנה, (המגיבים והתוצרים זהים – גלוקוז וחמצן הופכים לפחמן דו-חמצני ומים). אלא שבניגוד לשריפה במבחנה, התגובה בגוף מתרחשת בטמפרטורה נמוכה – 37°C ובשרשרת ארוכה של שלבים שרק בסופה נוצרים התוצרים הסופיים.

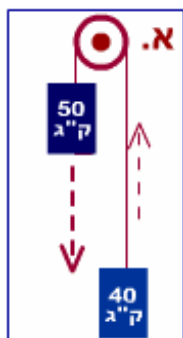


שינויי האנרגיה המלווים כל אחד מן השלבים הללו קטנים יחסית ואנרגיה זו אינה נפלטת כולה לסביבה אלא "נרתמת" כך שתהיה ניתנת לניצול. בכל אחד מן השלבים הללו משתתף חומר אחד: אדנוזין תלת פוספאטי, ATP, שיש המכנים אותו "המטבע האנרגטי של הגוף". התגובה היא:

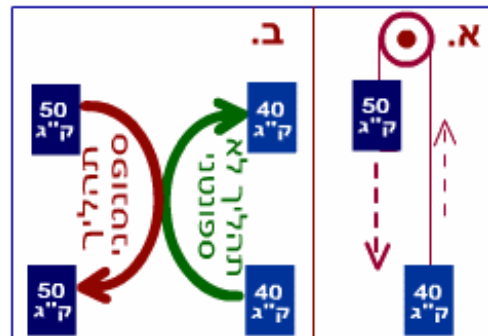


התגובה של יצירת ATP מ-ADP + P (פוספאט), וגם התגובה ההפוכה של פירוק ATP מ-ATP מתרחשות רק כשהן **צמודות** לתגובות אחרות. לדוגמה, את הדרך בה משתתף ה-ATP בתהליך החמצון של גלוקוז נוהגים הביוכימאים לתאר כפי שנראה באיור מימין. הם אומרים כי יצירת ATP **צמודה** לתהליכי החמצון של הגלוקוז.

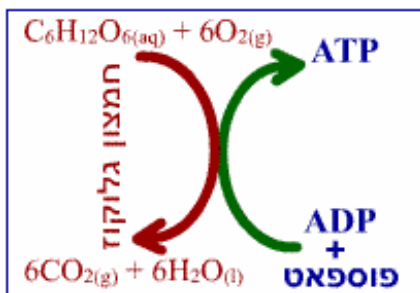
הסיבה שהביוכימאים משתמשים בצורת תיאור זו נובעת מכך שהדבר מזכיר להם מערכת משקולות. אפשר לומר שיש דמיון בין התהליך שתואר לעיל בו החמצון של גלוקוז **צמוד** להיווצרותו של מולקולות ATP ובין המערכת בה ירידת משקולת בת 50 ק"ג **צמודה** לעליית משקולת בת 40 ק"ג.



האיור משמאל מציג גלגלת עליה מלופף חבל. בקצות החבל מחוברות שתי המשקולות (אחת בת 40 ק"ג, והשניה בת 50 ק"ג). ניתן לומר כי שתי המשקולות צמודות זו לזו – המשקולת בת ה-50 ק"ג יורדת למטה ואגב כך מושכת כלפי מעלה את המשקולת השניה שמסתה קטנה יותר. במערכת זו, המשקולת הכבדה יותר נופלת כלפי מטה **מעצמה**, ולעומת זאת, עליית המשקולת הקלה יותר כלפי מעלה אפשרית רק מכיוון שהמשקולת הכבדה מושכת אותה. זוהי דוגמה למצב בו ישנו תהליך המתרחש מעצמו – תהליך המכונה בשם "תהליך ספונטני", שבהיותו מוצמד

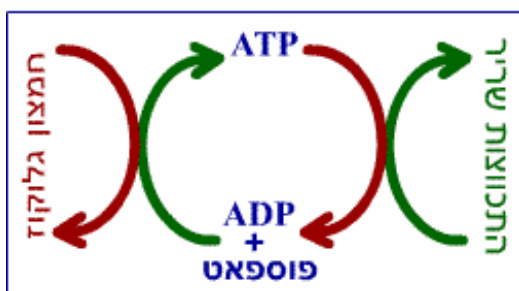


לתהליכים שאינם ספונטניים גורם לאלו להתרחש.



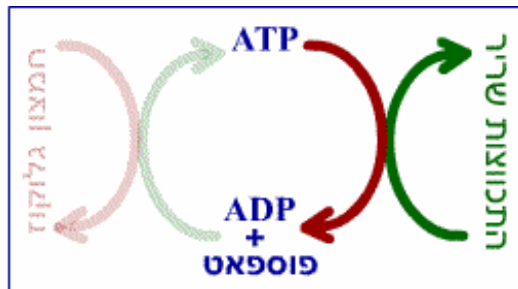
בצורה דומה, החמצון של גלוקוז צמוד ליצירת ATP. כפי שנאמר, זהו תהליך מסובך ורב שלבי. לפי החישובים שנעשו, בסיכום הכללי של כל שלבי החמצון, על כל מול גלוקוז מתקבלים בגוף 38 מול ATP הניתנים לניצול למטרות שונות.

הבה נסכם – אחת הסיבות בגללה אנו אוכלים היא לאפשר יצירת ATP שהוא, כפי שנאמר לעיל,



המטבע האנרגטי של הגוף. ה-ATP שנוצר בתהליכי עיכול המזון מאפשר קיומם של תהליכים לא ספונטניים בגוף כמו, לדוגמה, עבודת שרירים:

דנו עד כה באמירה שצוטטה בתחילת הקטע: "תמיד אמרו לנו שאם אנחנו עובדים, או רצים, או מתעמלים, עלינו לאכול כדי להחזיר לגופנו את האנרגיה שניצלנו". ובאמת, כל עבודה שהגוף מבצע "ניזונה" מן האנרגיה המתקבלת על-ידי הצמדתה לפירוק ATP ל-ADP ופוספאט.



אך, כמובן, הגוף אינו יכול להרשות לעצמו ל"בזבז" את כל מלאי ה-ATP שברשותו, (למרות שלפרקי זמן קצרים ישנם מנגנונים המאפשרים לו לנצל את החומרים שבגוף). בסופו של דבר עלינו לאכול כדי לאפשר קיומו של תהליך צימוד נוסף שבו ה-ATP שנוצל בפעילות השריר נוצר מחדש בצימוד לחמצון גלוקוז. לפי חישובים שונים שנערכו, נמצא כי גוף האדם מייצר ומפרק כ-40 ק"ג ATP בזמן מנוחה, וכמות זו גדלה מאד בזמן ביצוע עבודה.

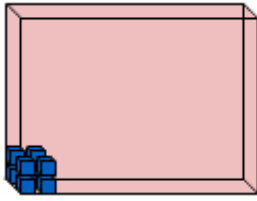
נשאלת השאלה, למה דרוש כל כך הרבה ATP בזמן מנוחה, ובמילים אחרות, מה קורה כאשר איננו עובדים, או רצים, או מתעמלים, כלומר איננו מנצלים אנרגיה לעבודה או משחקים?

השאלה מתחדדת יותר אם אנו חושבים על שנת החורף של בעלי-חיים שונים, כמו דובים או סנאים, החיים באזורים קרים. דובים, לדוגמה, אוגרים שומן רב בגופם לפני שהם נכנסים למאורה בתחילת החורף – באוקטובר או בנובמבר, והם מגיחים ממנה רק לאחר ששה או שבעה חודשים, באביב (אפריל או מאי). במשך כל התקופה הזו חילוף החומרים שלהם מואט ביותר – הם לא אוכלים, לא מפרישים כל חומרי פסולת, קצב פעימות הלב שלהם קטן (מ-40-70 פעימות לדקה עד ל-10-12 פעימות לדקה) וטמפרטורת הגוף יורדת בערך כתשע מעלות מתחת לערך הנורמלי (בבעלי-חיים אחרים הישנים שנת חורף טמפרטורת הגוף עשויה להתקרב לנקודת הקיפאון). למרות שהדובים אינם עושים כלום מלבד לישון, הם מאבדים כ-30 אחוזים ממשקל גופם (בסביבות 40 ק"ג) במשך שנת החורף שלהם. ונשאלת השאלה, מדוע? לשם מה זקוקים הדובים לכל האנרגיה הזו כאשר למעשה אין הם עושים כלום? בהמשך ננסה להבין זאת.



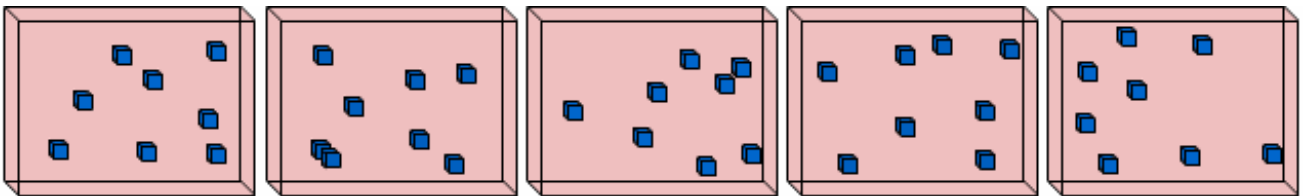
אך, תופעה זו אינה מיוחדת לדובים. נמצא שכמו הדובים גם אנחנו זקוקים לאנרגיה רק כדי להישאר בחיים. ממדידות שנערכו, נמצא שאנו זקוקים לכ-1500 קלוריות ליום המנוצלות לכמה מטרות – קודם כל לפעילות התקינה של המערכות הפנימיות כמו הנשימה, מחזור הדם, מערכת העצבים וכו'. אך קיימת מטרה נוספת שאולי במבט ראשון עשויה להראות מוזרה. אנחנו זקוקים לאנרגיה שתעזור לנו לשמור על היותנו שונים מסביבתנו. דרך אחרת לבטא זאת היא:

אנו זקוקים לאנרגיה שתשמור על הסדר והארגון בגופנו.



סביר שבהסתכלות ראשונה, אמירה זו עשויה להיראות מוזרה ביותר. מה פירוש הדבר – "לשמור על הסדר והארגון בגופנו"? ננסה להבין זאת. ובכן, החלק הראשון של המשפט מדבר על "סדר וארגון". ננסה להמחיש זאת. נניח כי האיור בצד שמאל מתאר את שולחן הכתיבה שלך כשהוא מסודר, כל דבר – המחברת, המחשב, ניירות, עפרונות עטים וכן הלאה, מונח במקומו.

נניח עכשיו כי התיישבת ליד השולחן והתחלת לעבוד. ברור כי לאחר דקה או שתיים כמה מן החפצים יוזזו ממקומם ה"מסודר" וייווצר מצב אותו ניתן לתאר בעזרת האיור הראשון בשורה הבאה, או השני, או השלישי וכן הלאה.

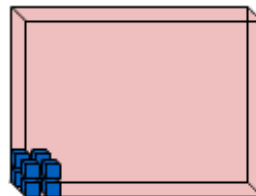


ישנה רק תמונה אחת המתארת את ה"סדר" אך קיימות הרבה מאד תמונות המתארות את השולחן כשאנו מסודר. מכאן שאם ננסה לחשוב רק על שני מצבים – מצב של סדר ומצב של אי סדר, הרי שמצב האי-סדר (האיור הראשון והשני והשלישי ...) יהיה קיים רוב הזמן. אם נרצה דווקא לחזור למצב ראשון, מצב הסדר, נצטרך לעבוד, לשים כל דבר חזרה למקומו, כלומר להשקיע אנרגיה. (כדי לחזור ולסדר את החדר "המבולגן" צריך לעבוד !!!) אם תקליקו [כאן](#), תוכלו למצוא סרטון קצר הממחיש תופעה זו.

המדענים קוראים למדד של מספר הדרכים בהן ניתן לתאר מצב נתון של מערכת בשם ה"אנטרופיה" של המערכת. ככל שגדל מספר הדרכים בהם ניתן לתאר מצב נתון, כן גדולה יותר האנטרופיה שלו. באופן גס נוכל לומר כי האנטרופיה היא מדד למידת אי הסדר במערכת.

לשולחן המסודר:

יש אנטרופיה נמוכה יחסית לשולחן ה"מבולגן".



אם אנו רוצים לשמור על מצב מסודר עלינו להשקיע אנרגיה.

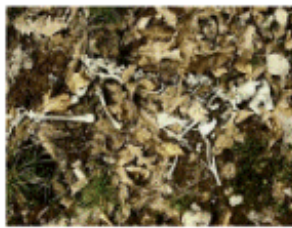
עד כאן דנו ב"סדר וארגון", אך ודאי אתם שואלים את עצמכם, מה לכל זאת ולגופנו? שהרי הכותרת של סעיף זה הייתה: "אנו זקוקים לאנרגיה שתשמור על הסדר והארגון בגופנו". ובכן, גם

הגוף החי צורך אנרגיה כדי לשמור על מצבו המאורגן. אם אין הגוף ממשיך לקבל אנרגיה, סופו שאיננו מסוגל להמשיך ולהיות שונה מסביבתו, כפי שימחישו התמונות הבאות.



זהו ארנב חי המבלה את מרבית חייו באכילה.

כאשר הארנב מפסיק לאכול, במילים אחרות כאשר הוא מת, נעלם המנגנון השומר על המיוחדות שלו ולאחר זמן לא ניתן יותר להבחין בינו לבין הסביבה:



לאחר כשנה

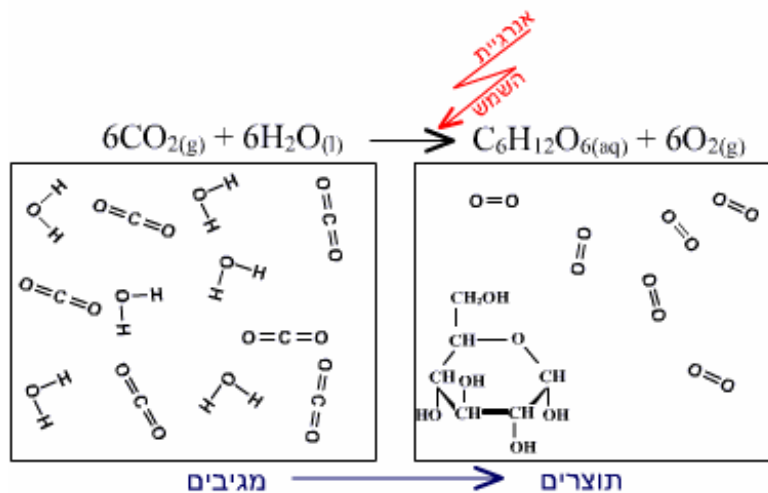


לאחר חודשיים



לאחר חודש

אחד מגדולי הפיסיקאים של דורנו, ארווין שרדינגר (Erwin Schrodinger) כתב ב-1944 ספר בשם "מהם החיים?" ובו ניסה להראות כיצד הוא כפיסיקאי מנסה לענות על שאלה זו. לפי הגדרתו, אנו נשארים בחיים, כלומר שומרים על השוני בינינו ובין הסביבה, על ידי כך שאנו קולטים מן הסביבה "אנטרופיה שלילית" (לפי הגדרתו אנטרופיה שלילית היא מדד לסדר). הביטוי בו משתמש שרדינגר הוא: "התחבולה בה הגוף שומר על עצמו במצב של סדר גבוה (אנטרופיה נמוכה) היא על-ידי-כך שהוא יונק באופן קבוע סדר מסביבתו".



מקורו הראשוני של הסדר אותו "אנו יונקים מסביבתנו" היא השמש. הצמחים מסוגלים להשתמש באנרגיה זו כדי לייצר חומרים בדרגת סדר גבוהה – כלומר, בעלי אנטרופיה נמוכה. האיור מתאר

באופן סכמתי את תהליך הפוטוסינתזה בו יוצרים הצמחים בעזרת אנרגיית השמש גלוקוז וחמצן מפחמן דו-חמצני ומים.

כפי שניתן לראות, בתהליך זה נוצרות מכל 12 מולקולות של מגיבים (6 מולקולות מים ו-6 מולקולות פחמן דו-חמצני). 7 מולקולות של תוצרים (מולקולת גלוקוז אחת ו-6 מולקולות חמצן). מולקולת הגלוקוז "מסודרת" יותר מן המולקולות הקטנות יחסית מהן נוצרה, כלומר, כחומר מזון היא מתאימה להגדרתו של שרדינגר ש"אנו ניזונים מן הסדר בסביבתנו".

כפי שנאמר, הגלוקוז משמש כאחד מחומרי המוצא בתהליכים שונים של יצירת מרכיבי הגוף וגם כמגיב בתהליך הנשימה. מן הגלוקוז נוצרים בתאים (גם של צמחים וגם של נעלי-חיים) חומרים שונים הדרושים לפעילות התקינה של הגוף – לנשימה, לפעילות של מערכת הדם, של מערכת העצבים ושל מערכת העיכול. בתהליך הנשימה מתקבלת גם האנרגיה הדרושה לפעילות זו וגם לכל הפעילות הרצונית שלנו, כמו הליכה, קריאה, חשיבה ואהבה. תהליך הנשימה מתואר שוב באיור הבא וניתן לחשוב עליו כהיפוכו של תהליך הפוטוסינתזה מבחינת המגיבים והתוצרים הסופיים – וזאת למרות שהשלבים של שני התהליכים שונים. בסופו של כל תהליך הנשימה מתקבלות מכל 7 מולקולות (6 מולקולות חמצן ומולקולה אחת של גלוקוז) 12 מולקולות (6 מולקולות פחמן דו-חמצני ו-6 מולקולות מים), וכן אנרגיה הנפלטת לסביבה בצורת חום:

