



צמר גפן מתוק או שְׁעָרוֹת סבתא? שינוי מצב צבירה או הידרוליזה? רק מזיק או יכול להועיל?

ד"ר מלכה יאיון, מורה לכימיה, תיכון קציר וחברת קבוצת הכימיה
במחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע

ערן שמואל, מורה לכימיה, תיכון רוטברג, רמת השרון

גם אנחנו החלטנו להכין שערות סבתא באירוע הסיום של הקהילות. ככל שקראנו יותר על המאכל המתוק, התעניינו יותר! נשתף אתכם במקצת הגילויים ובפעילות על סוכרים במסגרת ה-30%. נתחיל במעט "היסטוריה", נמשיך בכימיה של התהליך ונסיים בעתיד ("ורוד").

רקע היסטורי

כבר בתחילת שנות ה-1400 יצרו טבחים איטלקים את הגרסה הקדומה של צמר גפן מתוק. הטבחים חיממו סוכר ויצרו סיבים בעזרת מזלגות כדי ליצור צורות דקורטיביות שונות שקישטו את העוגות של האצולה האירופית. באותם ימים היה הסוכר מצרך יקר ולפיכך הוחזק תחת מנעול ובריח.

הרעיון לעסוק בכימיה של "שְׁעָרוֹת סבתא" עלה במהלך ההכנות לקראת מפגש הסיום של פרויקט קהילות מורי הכימיה. רצינו שהאירוע יהיה חגיגי ומיוחד, מעין יריד. ומה אוכלים באירועים כאלה? פופקורן, נקניקיות ו"צמר גפן מתוק". את הפופקורן כבר חקרנו מכל כיוון, ונקניקיות אינן מאכל בריא.

בדיוק באותו זמן התקיים בתיכון רוטברג ברמת השרון ערב שבו הציגו תלמידים בפני הוריהם עבודות שהכינו במסגרת הערכה חלופית לנושא "סוכרים". שלוש תלמידות - נעמה גבריאילוב, שני רוזנבלום וגבריאילה צחייק - עסקו בכימיה של שערות סבתא ואף דאגו להביא לאירוע מכונה שעושה שערות סבתא. האירוע היה מוצלח, והמכונה הוסיפה גוון כיפי לאירוע.



הכנת "שערות סבתא" במסגרת כנס הסיום של קהילות מורי הכימיה

תהליך הכנת צמר גפן מתוק ברמת המקור

שמים סוכר לבן בתוך גליל מחורר בדפנות החיצוניות (קוטר החורים כ-50 מיקרומטר. קטן יותר מגרגיר סוכר). שנמצא באמצע המכונה. כאשר מפעילים את המכונה, גוף חימום נדלק, והטמפרטורה מגיעה לכ-150 מעלות צלזיוס. גוף החימום נמצא מתחת לגליל, והגליל מסתובב במהירות של כ-3400 סיבובים בשנייה. מתקבל נוזל צמיג שיוצא מהחורים הקטנים לתוך קערה גדולה המקיפה אותו. כך נוצרים "סיבים" דקים, מתוקים ודביקים שאותם מלפפים סביב מקל, וכך מתקבל הממתק המבוקש!



הכנת "שערות סבתא"

תהליך הכנת צמר גפן מתוק ברמת המיקרו

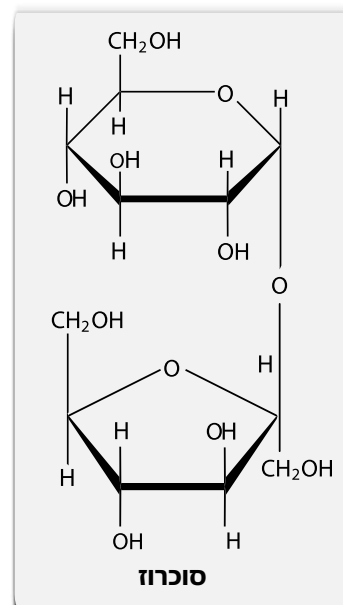
התחלנו לחקור באופן מעמיק יותר מה קורה ברמה המולקולרית, ומצאנו גרסאות שונות שמסבירות את הכימיה של התהליך.

יש גרסאות המתייחסות רק לתהליכים של שינוי מצב צבירה: הסוכר עובר ממצב צבירה מוצק לנוזל ובחזרה למוצק אמורפי; גרסה אחרת טוענת שבזמן החימום והגדלת שטח

צמר הגפן בגרסתו המוכרת הומצא על ידי רופא שיניים, ויליאם מוריסון ויצרן ממתקים, ג'ון וורטון, בסוף המאה ה-19! הם עיצבו מכונה שמשלבת חימום ותנועה מעגלית שמטרתה ייצור ממתק עדין ואוורירי. המכונה הוצגה לראשונה בתערוכה העולמית של שיקגו (1893).

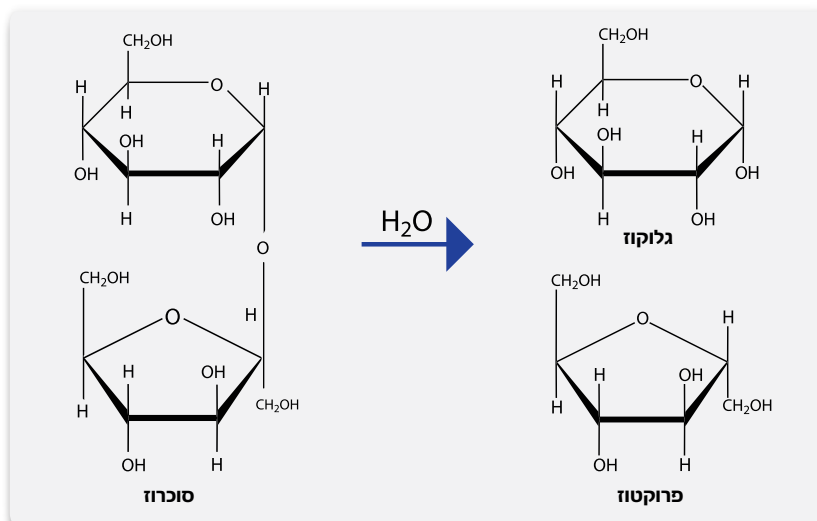
מהו צמר גפן מתוק?

צמר גפן מתוק הידוע בכינויו "שערות סבתא" הוא ממתק נפוץ עשוי סיבים, אוורירי, דביק ורגיש ללחות, שמכילים מסוכר לבן, סוכרוז $C_{12}H_{22}O_{11(s)}$.



הפנים מתרחשים תהליכים כימיים נוספים - פירוק קשרים גליקוזידיים, למשל. מכיוון שהסוכרוז הופך לקרמל בטמפרטורה של 168 מעלות צלזיוס, ייתכן שתהליך הקרמול כולל גם קבלת תוצרים שונים וביניהם פחם, פחמן דו-חמצני ומים.

עפ"י ריץ' הרטל, מדען שעוסק במדע של המזון מאוניברסיטת ויסקונסין, בתחילת התהליך הסוכר נמצא במצב גבישי, המולקולות של סוכרוז מאורגנות במבנה מסודר. עם עליית הטמפרטורה, המבנה הופך להיות מבולגן. והקשרים הגליקוזידיים מתפרקים (בלחות שבאוויר) ואגב כך נוצרות מולקולות גלוקוז ומולקולות פרוקטוז, על פי הניסוח הבא:



הידרוליזה של סוכרוז לגלוקוז ופרוקטוז

תערובת הסוכרים הנוזלית עוברת במהירות דרך החורים הקטנים (כ-50 מיקרומטר), ונוצרים סיבים דקים שמתקררים מהר מאוד לאחר היווצרותם.

הקירור המהיר של הסוכר אינו מאפשר למולקולות הסוכר (הסוכרוז, הגלוקוז והפרוקטוז) לחזור למבנה הגבישי. המולקולות "קופאות" ללא מבנה מסודר, וכך נוצרים סיבים דקים של סוכר זכוכיתי או אמורפי.

כאשר סיבים אלה נוצרים, מפעיל המכונה מסובב מקל אשר אוסף אותם ויוצר מקבץ אוורירי של "שערות" או "צמר גפן".

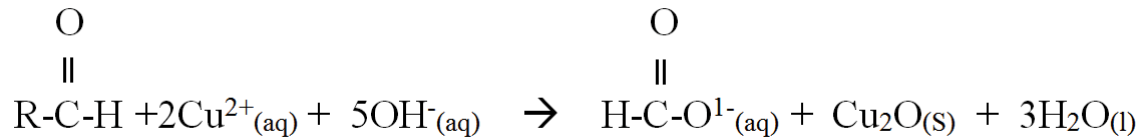
הכנו שערות סבתא בכיתה

בדקנו בכיתה הכימיה בתיכון קציר, רחובות את השאלה הזו: האם קשרים גליקוזידיים מתפרקים במהלך הכנת הצמר גפן המתוק?



טענה 1: מתרחשים תהליכים של שינוי מצב צבירה בלבד.
 טענה 2: בזמן החימום והגדלת שטח הפנים יש גם פירוק קשרים גליקוזידיים.

נעזרנו בתגובת פלינג שמוכרת גם כתגובה עם מגיב בנדיקט שמזהה סוכר מחזר, קבוצה אלדהידית. התגובה מתבצעת בעזרת יוני נחושת בסביבה בסיסית. הקבוצה האלדהידית בצורה השרשרתית הפתוחה של החד-סוכר משמשת כמחזרת, והיא עצמה עוברת חמצון לחומצה - קבוצה קרבוקסילית. לאחר חימום קל מתקבל משקע כתום של נחושת חמצנית, כמתואר בנוסחה זו:



סוכרוז, כפי שהנוסחה מראה, אינו סוכר מחזר כי הפחמנים האנומריים קשורים בקשר גליקוזידי ואינם יכולים לחשוף קבוצה אלדהידית.



מבחנות אחרי החימום.

שלוש מבחנות עם מגיב בנדיקט ותמיסת סוכר לבן של גלוקוז ושל שערות סבתא לפני החימום

ניתן לראות שיש תגובה עם מגיב בנדיקט בתמיסת הגלוקוז ובתמיסת הצמר גפן המתוק.

מכיוון שהוכנס למכונה רק סוכר לבן, ניתן להניח שהסוכרוז התפרק, הקשרים הגליקוזידיים עברו הידרוליזה וכך התקבלו סוכרים מחזרים. מצד שני, יש אפשרות שמתרחשים תהליכים נוספים אשר במהלכם מתקבלים אלדהידים, ואלו מגיבים. בכל מקרה התהליך מורכב יותר ואינו רק שינוי מצב צבירה.

תוצאות הבדיקה תומכות בטענה שהתהליך אינו רק של שינוי מצב צבירה.

שערות סבתא - לא רק "לא בריא"!!

ד"ר ג'ייסון ספקטור (מרכז רפואי ווייל בקורנל, ניו יורק) וליאון בלאן (אוניברסיטת קורנל, ניו יורק) מנסים להשתמש בצמר גפן מתוק כדי ליצור רשתות של כלי דם בעצמות, עור ושרירים שמגדלים באופן מלאכותי במעבדה. "ראשית, שופכים נוזל סמך (אפוקסי) על צמר גפן מתוק. האפוקסי מתקשה, ואז ממיסים את צמר הגפן במים חמים. זה מותיר תעלות זעירות שעליהן ניתן לגדל תאים שיוצרים רשתות של כלי דם מלאכותיים. האפוקסי מתכלה ומוחלף בהדרגה על ידי רקמות מלאכותיות. בסופו של דבר מתקבלת רקמה עם כלי דם זעירים" (ריטר 2009).

מחקר זה הוא עדיין בשלבים המוקדמים, אבל יש כאן פוטנציאל טכנולוגי גדול מבעבר שעשוי לאפשר למדענים להנדס רקמות הרבה יותר עבות? מאשר אי פעם בעבר.

כנס סוכרים - הערכה חלופית לנושא סוכרים במסגרת ה-30%

לדעתם של מורי הכימיה, נושא הסוכרים הנלמד במסגרת ה-30% הוא אחד הנושאים שבעזרתם ניתן להעריך את התלמידים במגוון רחב של דרכים. בתיכון "רוטברג" ברמת השרון החליטו אנשי צוות המגמה - ערן שמואל, קרן מנדה וסינתיה גילעם - לקיים ערב שבו התלמידים מציגים בפני הוריהם נושאים שונים הקשורים לסוכרים ברפואה ובתעשייה. התלמידים הכינו הרצאות, כרזות, סרטונים ועמדות. לאחר למידת נושא הסוכרים בכיתה שנמשכה כ-6 שעות, חיפשו כל שלשת תלמידים באופן עצמאי נושא שיעניין אותה. בין הנושאים שעלו היו ממתקים מלאכותיים, שימוש בסוכרים המכילים סמן רדיואקטיבי במיפוי מחלות סרטן, רגישות ללקטוז, עמדת אינדיקטורים לזיהוי סוכרים. "שערות סבתא" ועוד.

התלמידים רכשו ידע וחיוויית למידה עם ערך מוסף לתכנית הלימודים. לקראת הערב חולקה חוברת תקצירים שנכתבה על ידי קבוצות התלמידים השונות (ניתן לקרוא את חוברת התקצירים בקישור הבא. [hoveret takzirim kenes rotberg](http://hoveret.takzirim.kenes.rotberg)). כל התלמידים נדרשו לעמוד בפני קהל ולהציג את עבודתם. ההערכה נעשתה בעזרת מחוון שכלל פרמטרים רבים ושיקף את התהליך שעברו התלמידים.

מחוון להערכת פרויקט סוכרים

משקל	קטגוריה	תבחינים	ניקוד	ממוצע	ציון
5%	בחירת נושא	רלוונטיות			
		קשור לחיי היום היום			
10%	הכנת תקציר	שליחת תקציר המכיל את כל רכיבי ההרצאה			
35%	הכנת מצגת	תכנים			
		עיצוב			
		אופן הצגת המצגת/סרטון/עמדה			
20%	עונה על שאלות המורה	בקיאות בידע הכימי			
15%	התנהלות ועמידה בזמנים	מגיש את המטלות בזמן			
		מעורב בהכנת התוצר ומשתף פעולה עם חברי הקבוצה			
5%	התנהלות בכנס	נוכחות לכל אורך הכנס			
10%	רפלקציה	הגשת רפלקציה אישית			
ציון סופי					

מקורות

<http://www.portageinc.com/community/pp/cottoncandy.aspx>

Ritter, Malcom, 2009, *Cotton candy: Sweet treat and medical breakthrough*, http://www.denverpost.com/headlines/ci_11683435, published February 12, 2009, Web site visited June 26, 2013.

Venzon, Christine, 2013, *How Cotton Candy Works*, <http://science.howstuffworks.com/innovation/edible-innovations/cotton-candy4.htm>, Web page visited June 26, 2013.

https://www.youtube.com/watch?v=U6tl_oJpkvo