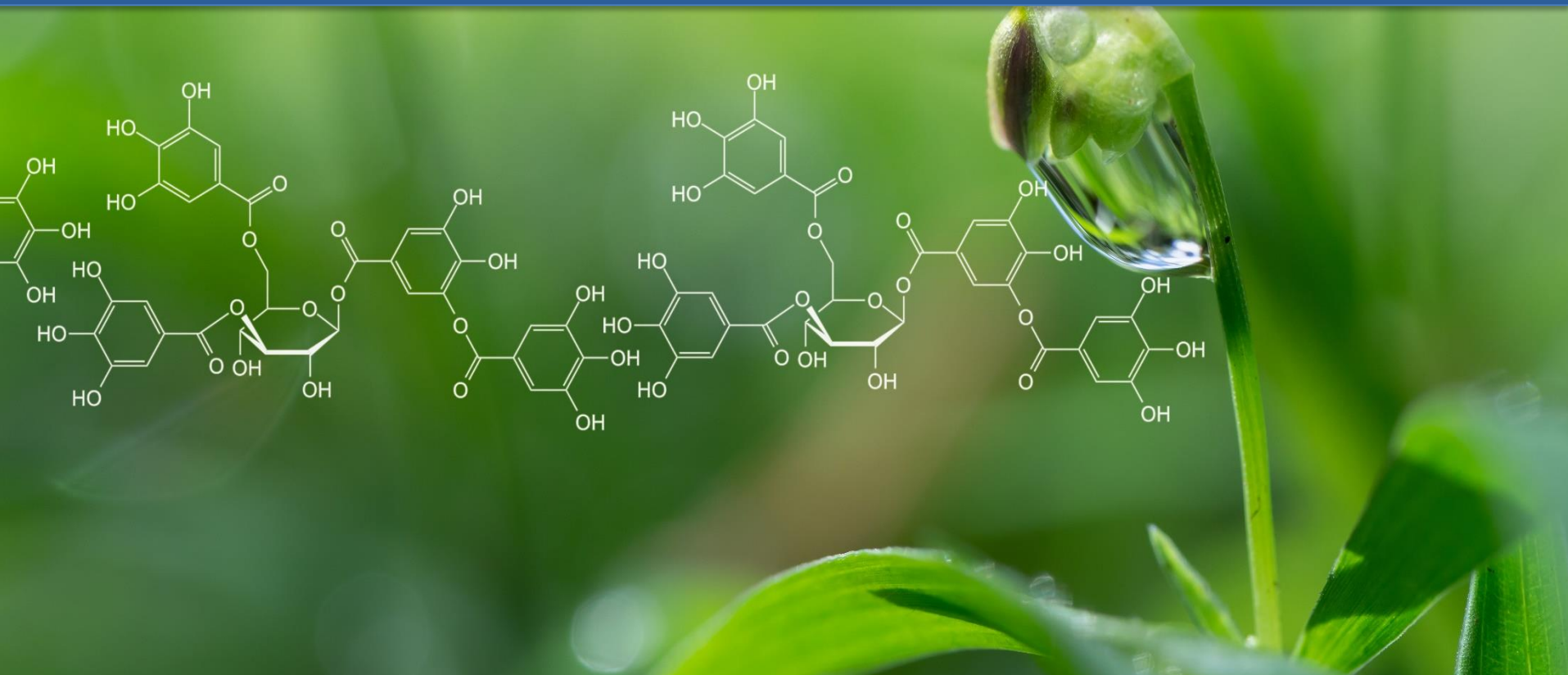


מחומצות אמיניות לחלבון



המבנה המרחבי של חלבון 

ארבע רמות של מבנה החלבון 

הקשרים המאפיינים כל רמת מבנה 

מה אנחנו צריכים כבר לדעת?

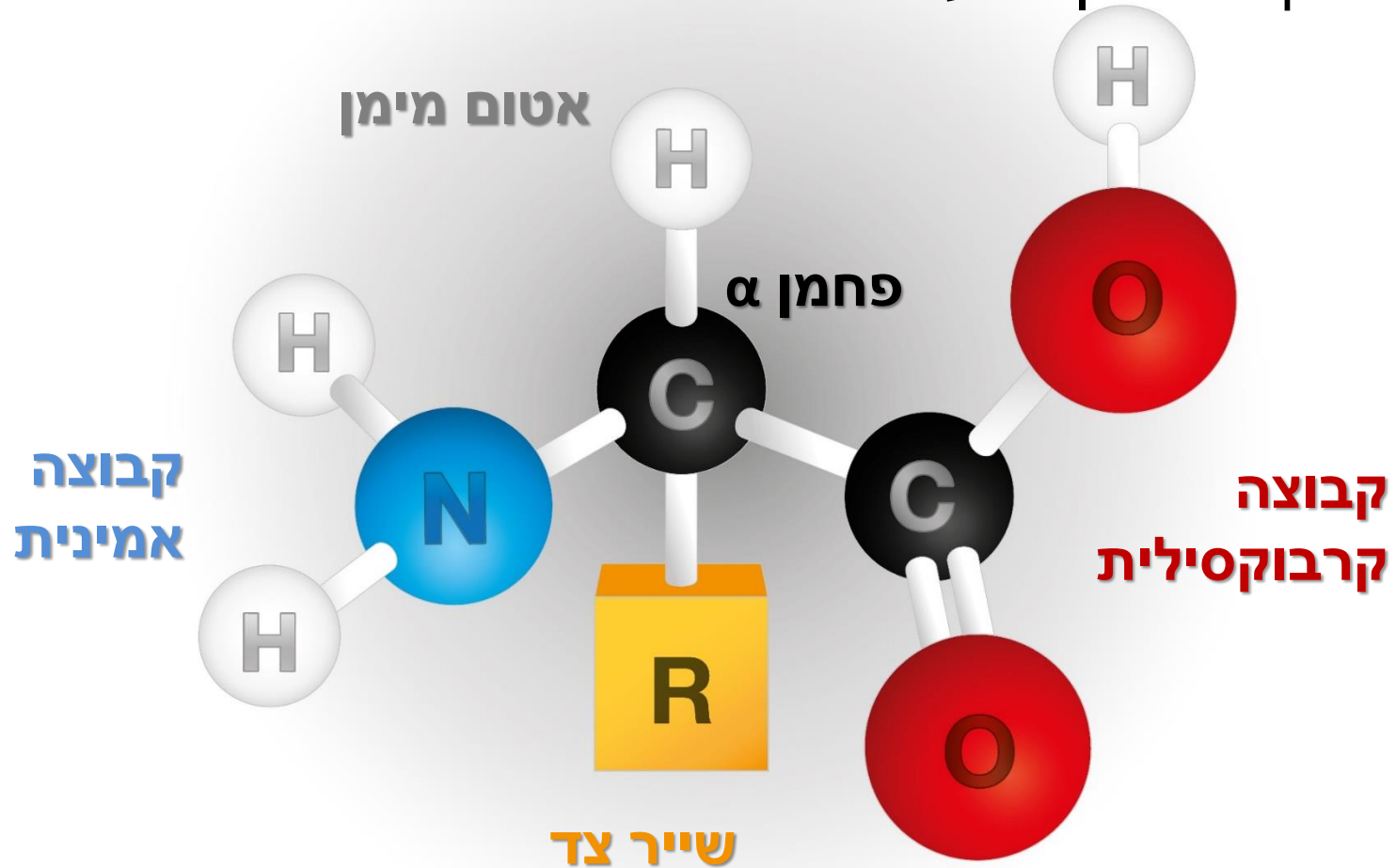
מבנה וקישור 

קשר קוולנטי, קשר יוני, קישור בין מולקולרי: קשרי מימן ואינטראקציות ו.ד.ו.

ביוכימיה: 

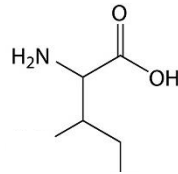
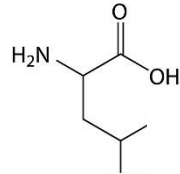
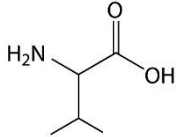
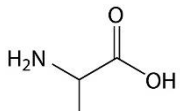
מבנה של חומצה אמינית, שיירי הצד של חומצה אמינית, הקשר הפפטידי

חומצות אמיניות נבדלות זו מזו בשייר הצד שלהם (R). קיימות כ-20 חומצות אמיניות שונות הנבדלות זו מזו במבנה, בגודל, ביכולת שלהם ליצור קשרי מימן ובפעילות הכימית של שייר הצד שלהם.

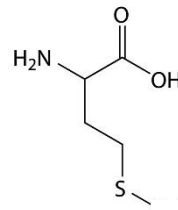
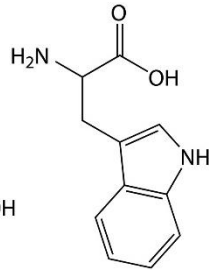
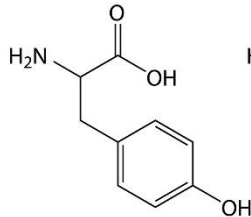
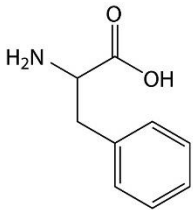


20 חומצות אמיניות

A Ala **אלאנין** **V** Val **ואלין** **L** Leu **לאוצין** **I** Ile **איזולאוצין**

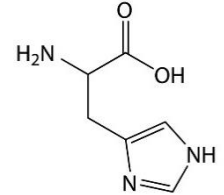
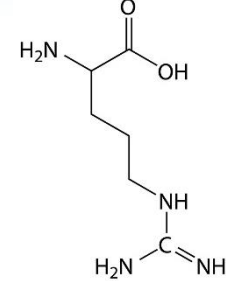
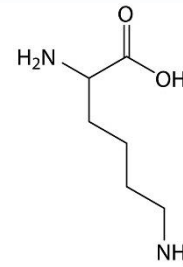


F Phe **פנילאלאנין** **Y** Tyr **טירוזין** **W** Trp **טריפטופן** **M** Met **מתיונין**



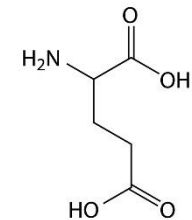
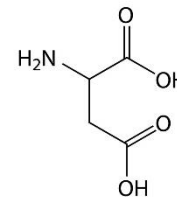
שייר צד הידרופובי

K Lys **ליזין** **R** Arg **ארגינין** **H** His **היסטידין**



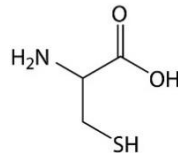
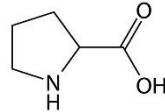
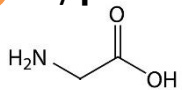
שייר צד בסיסי

D Asp **חומצה אספרטית** **E** Glu **חומצה גלוטמית**



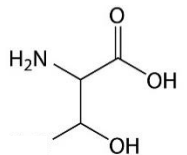
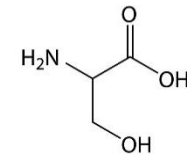
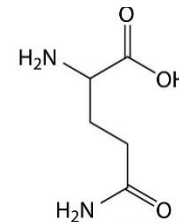
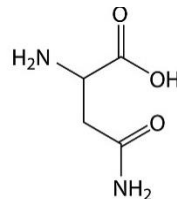
שייר חומצי

G Gly **גליצין** **P** Pro **פרולין** **C** Cys **ציסטאין**



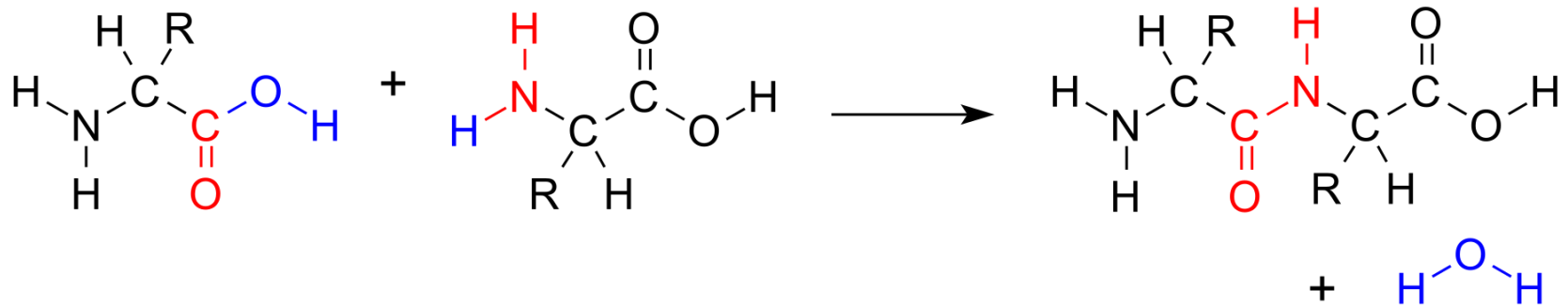
שייר צד מיוחד

N Asn **אספרגין** **Q** Gln **גלוטאמין** **S** Ser **סרין** **T** Thr **תראונין**

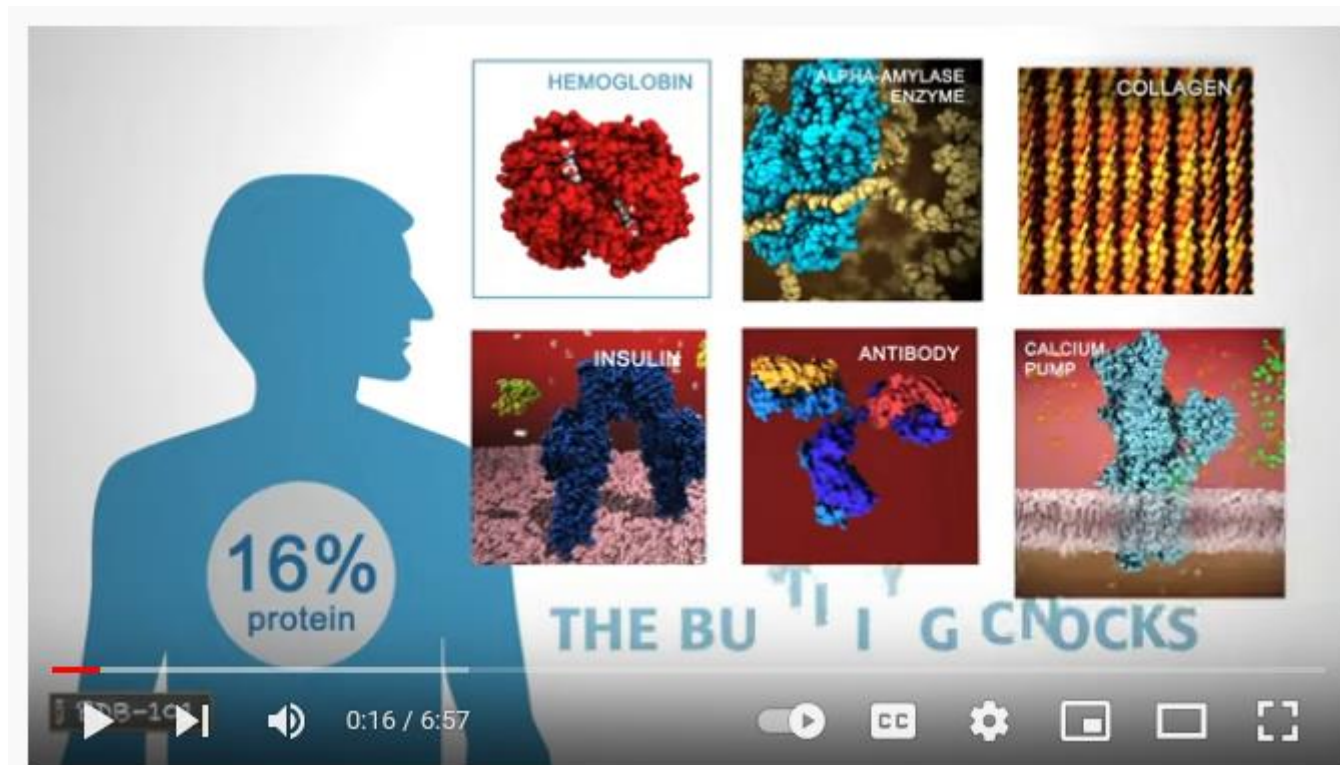


שייר צד קוטבי

החומצות האמיניות נקשרות זו לזו דרך יצירת **קשרים פפטידיים** בין הקבוצה הקרבוקסילית של חומצה אמינית אחת לבין הקבוצה האמינית של חומצה אמינית שנייה. בתהליך נפלטת מולקולת מים.

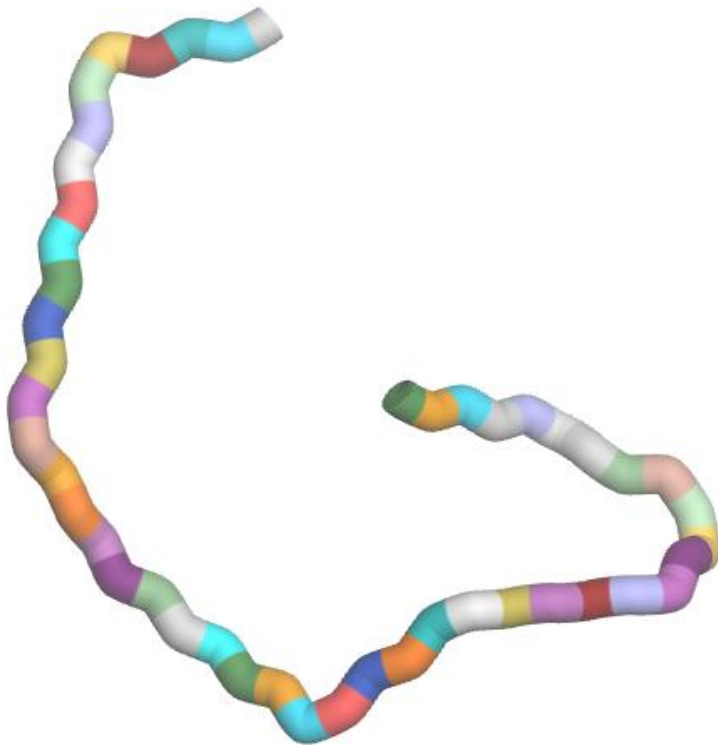


סרטון – מחומצות אמיניות לחלבון

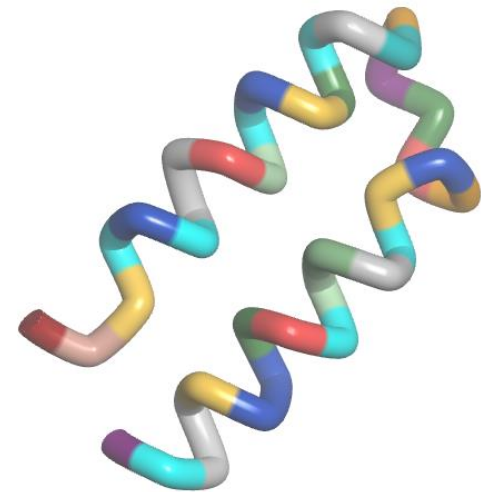
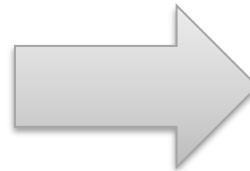


<https://www.youtube.com/watch?v=wvTv8TqWC48&t=46s>

לרוב החלבונים מבנה מרחבי מוגדר. השרשרת הפוליפטידית מתקפלת לקבלת מבנה תלת-ממדי יציב.



לפני קיפול

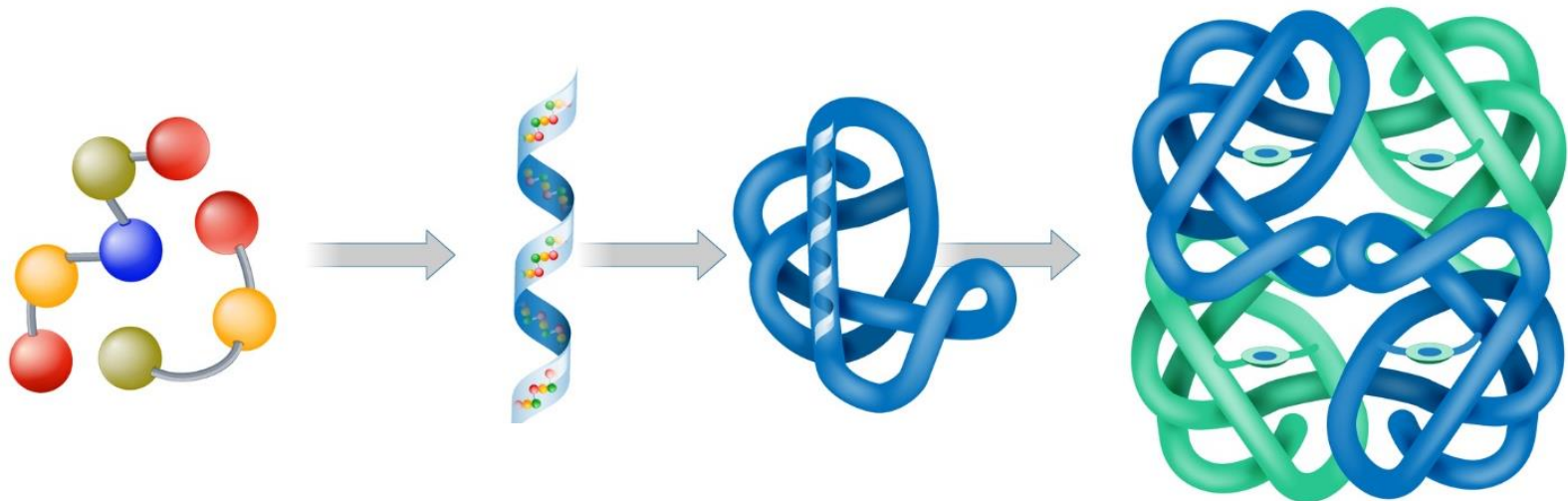


אחרי קיפול

החלבון מוצג כאן כ"סרט" העוקב אחר השלד הפפטידי (ללא שיירי הצד). כל צבע מייצג סוג של חומצה אמינית

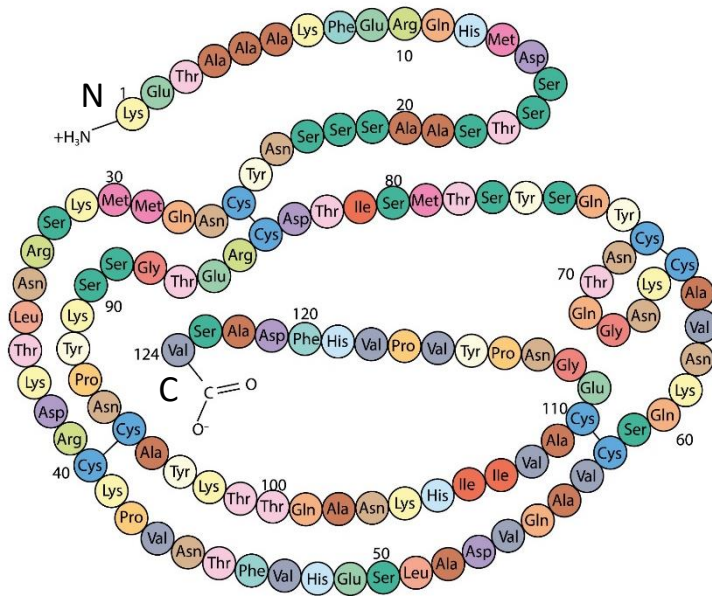
מגדירים ארבע רמות מבנה של חלבון הקובעות את הסידור שלו במרחב:

- **מבנה ראשוני** – רצף החומצות האמיניות
- **מבנה שניוני** – סליל α או משטח β
- **מבנה שלישוני** – המבנה התלת-ממדי
- **מבנה רביעוני** – מספר שרשרות חלבון ביחד



המבנה הראשוני הוא רצף החומצות האמיניות הנקשרות ביניהן בקשר קוולנטי:

1. קשרים פפטידיים
2. קשרי דו-גופרית

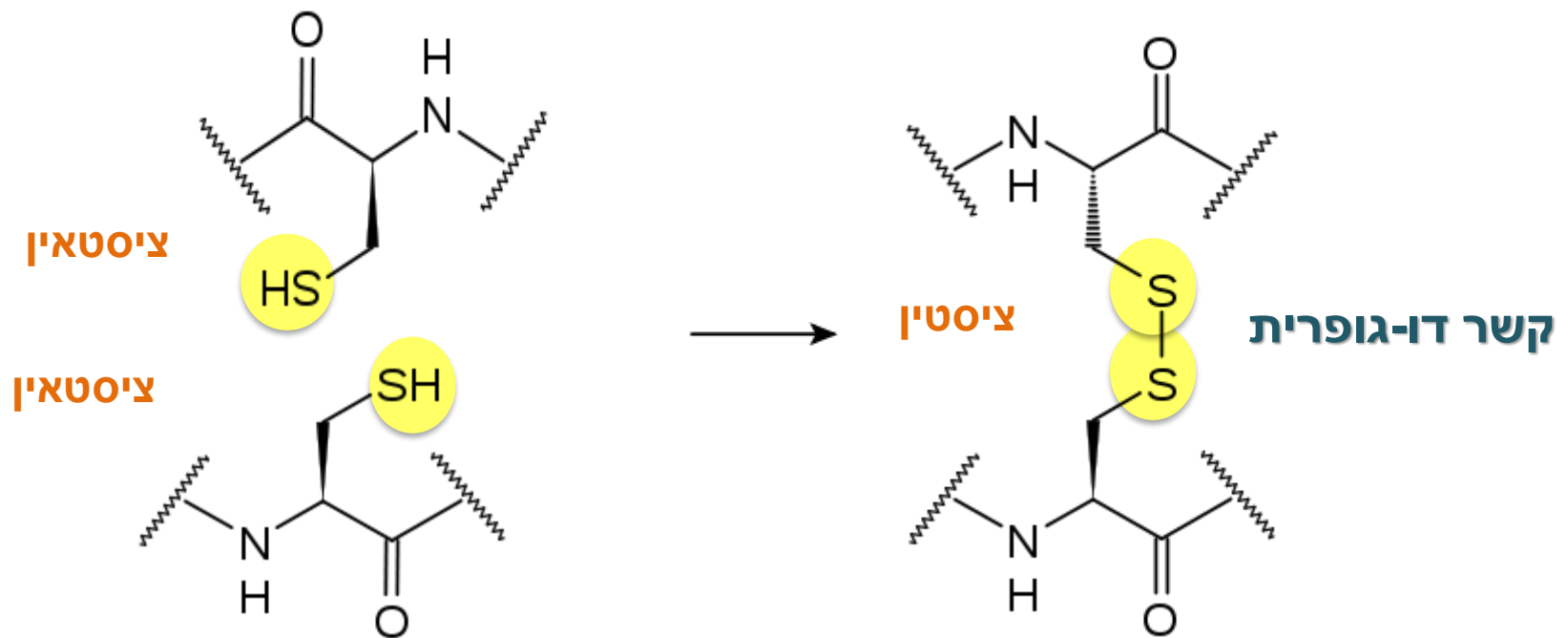


10	20	30	40	50
MALEKSLVRL	LLLVLILLVL	GWVQPSLGKE	SRAKKFQRQH	MDSDSPSSSS
60	70	80	90	100
STYCNQMMRR	RNMTOGRCKP	VNTFVHEPLV	DVQNVCFQEK	VTCKNGQGNC
110	120	130	140	150
YKSNSSMHIT	DCRLTNGSRY	PNCAYRTSPK	ERHIIVACEG	SPYVPVHFDA
SVEDST				

Note: S-S bonds are indicated between residues 6 and 11, and between residues 7 and 12.

המבנה הראשוני של ריבונוקלאז – אנזים שנמצא בכבד ומזרז פירוק של מולקולות RNA

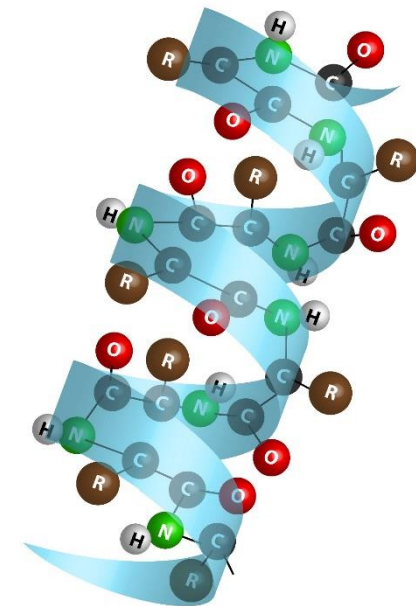
קשרי דו-גופרית (קשרים דיסולפידים, גשרי S-S) הם קשרים קוולנטים הנוצרים בין שני שיירי צד של החומצה אמינית ציסטאין בעקבות תגובת חמצון-חיזור



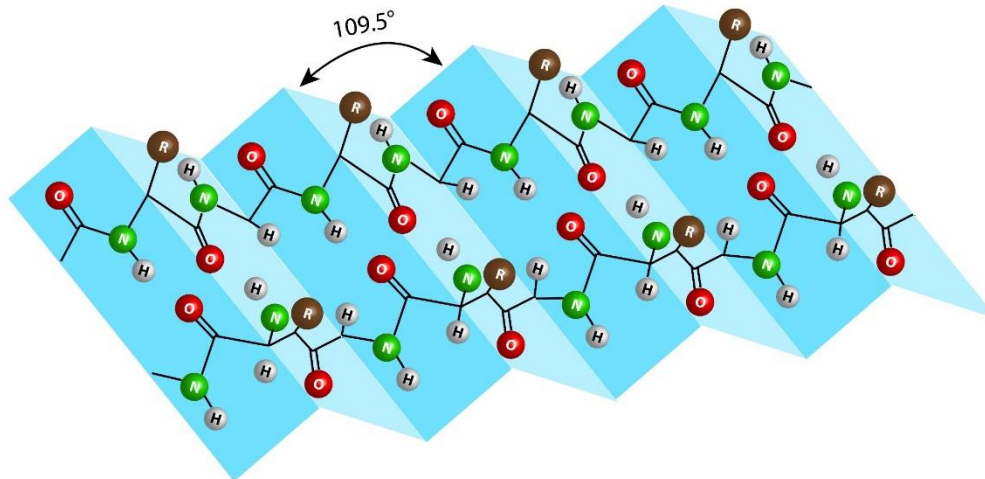
המבנה השניוני מתבטא בהתקפלות השרשרת הפוליפפטידית לצורות מרחביות בעלות מבנה מחזורי.

ישנם שני מבנים שניוניים עיקריים:

סליל α **α helix**

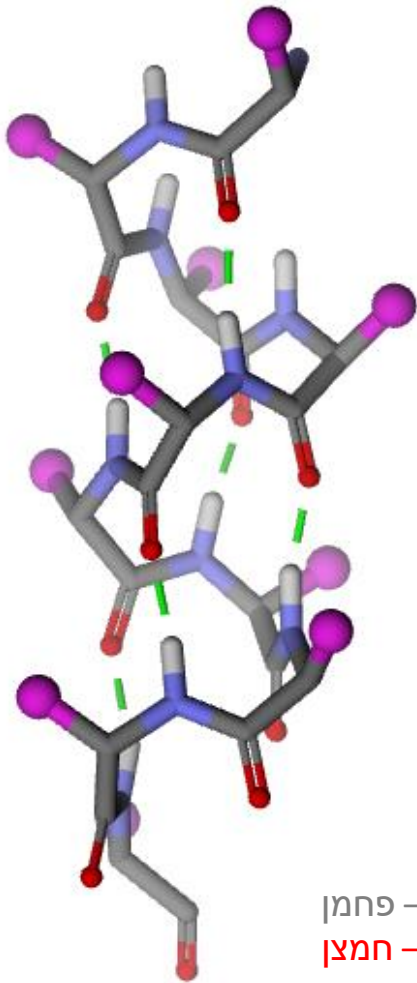


משטח β **β sheet**



המבנים השניוניים מיוצבים על ידי קשרי מימן הנוצרים בין אטומי השלד הפפטידי

מבנה שניוני: סליל α



אפור – פחמן

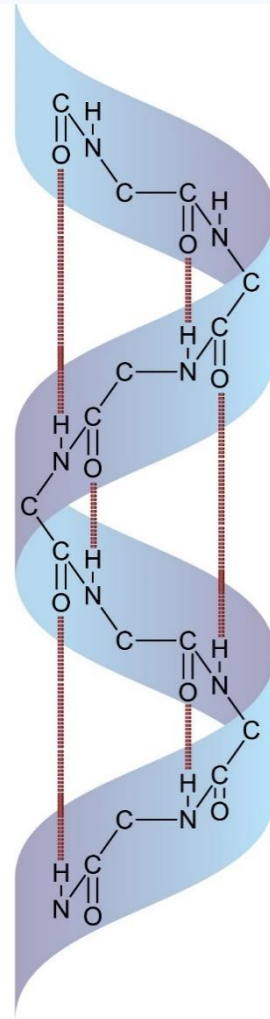
אדום – חמצן

כחול – חנקן

לבן – מימן (המימן על פחמן לא מוצג)

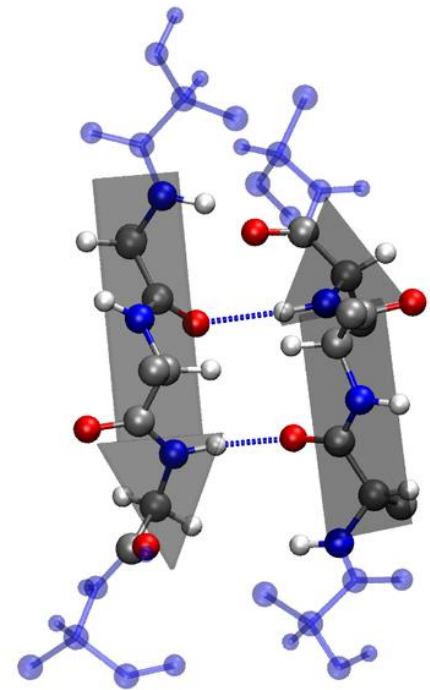
כדור סגול – שייר הצד

קו ירוק – קשר מימן



- **סליל α** נוצר כאשר השלד של השרשרת הפוליפפטידית מתקפל ליצירת סליל.
- הסליל מיוצב בעזרת קשרי מימן בין זוגות האלקטרונים הבלתי קושרים שעל אטום החמצן בקבוצת $C=O$ של קשר פפטידי אחד, לבין אטום מימן חשוף מאלקטרונים בקבוצת NH – בקשר פפטידי שנמצא ארבע שיירים אחריו.
- כך, בכל סיבוב יש 3.6 חומצות אמיניות
- שיירי הצד פונים החוצה מהסליל

- **משטח β** נוצר כאשר שני מקטעים או יותר של אותה שרשרת מסודרים במקביל זה לצד זה
- השרשרות מוחזקות על ידי קשרי מימן בין קבוצת C=O בקשר פפטידי אחד לבין קבוצת NH בקשר פפטידי שנמצא במקטע הסמוך.
- שייר הצד של החומצות האמיניות נמצא מעל ומתחת למשטח, לסירוגין



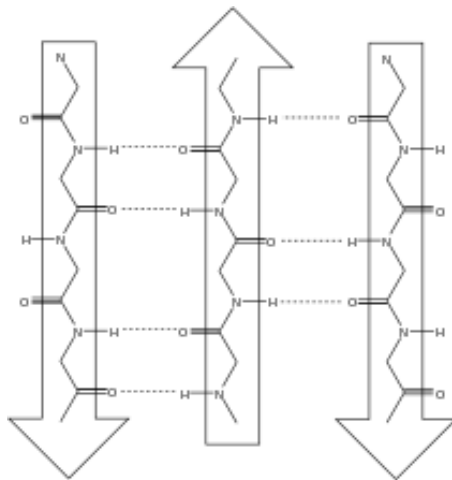
Olaf Lenz | Wikipedia | CC-by-SA

אפור – פחמן

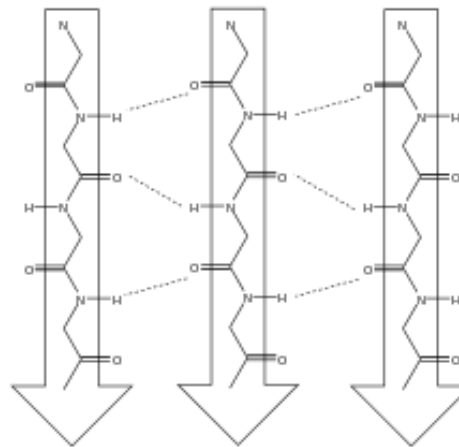
אדום – חמצן

כחול – חנקן

לבן – מימן (המימן על פחמן לא מוצג)



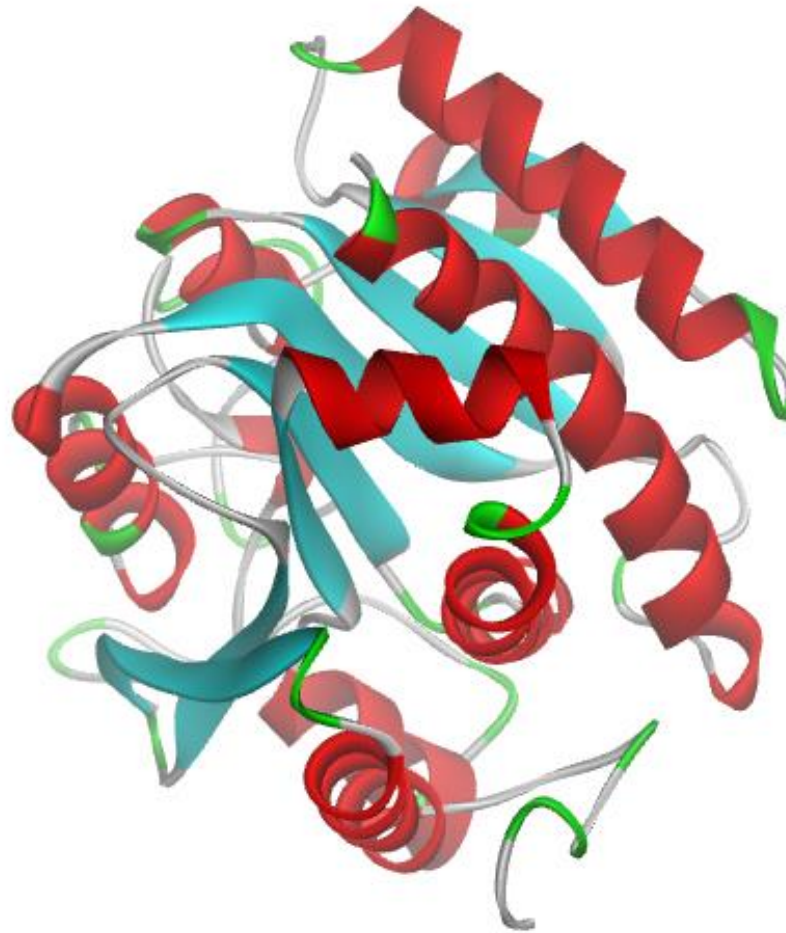
משטח אנטי-מקבילי



משטח מקבילי

המבנה השלישוני הוא המבנה המרחבי התלת-ממדי של שרשרת חלבון יחידה. הוא נוצר ע"י שילוב של חלקי השרשרת בעלי מבנה שניוני והחיבורים

קרבווקסי-פפטידאז A:
אנזים שמפרק חלבונים
אחרים מהקצה C שלהם.
נמצא בכבד.



מודל "סרט" (ribbon) –
שרשרות הצד לא מוצגות
וה"סרט" עוקב אחר מהלך
השרשרת - השלד של
החלבון.

באדום סלילי α
בכחול משטחי β

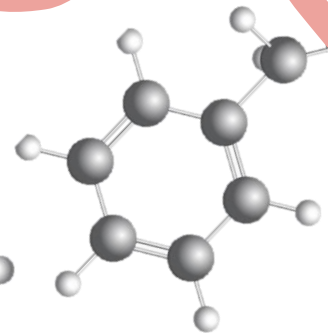
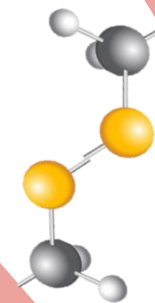
הקשרים שמייצבים את המבנה השלישוני

המבנה השלישוני מיוצב על ידי אינטרקציות בין שיירי הצד של החומצות האמיניות השונות

(1) קשר

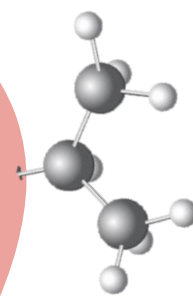
דו-גופרית

בין שני שיירי צד של ציסטאין



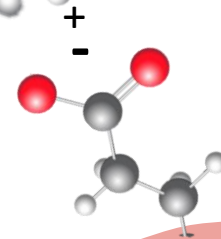
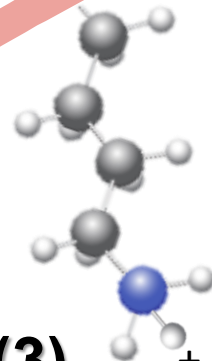
(2) אינטרקציות ו.ד.ו.

בין שיירי צד הידרופוביים



(3) קשרים יוניים

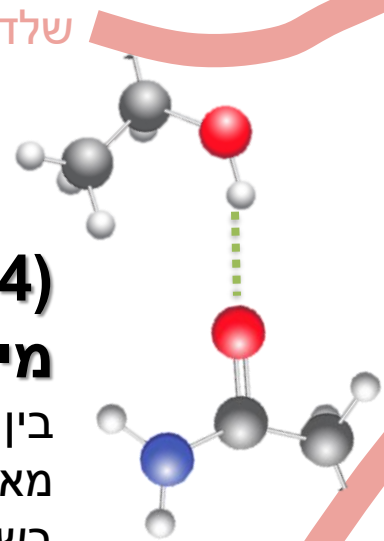
בין שיירי צד בעלי מטען מנוגד



(4) קשרי

מימן

בין מימן חשוף מאלקטרונים בשייר צד אחד לבין זוג אלקטרונים לא קושר על אטום O או N בשייר צד שני

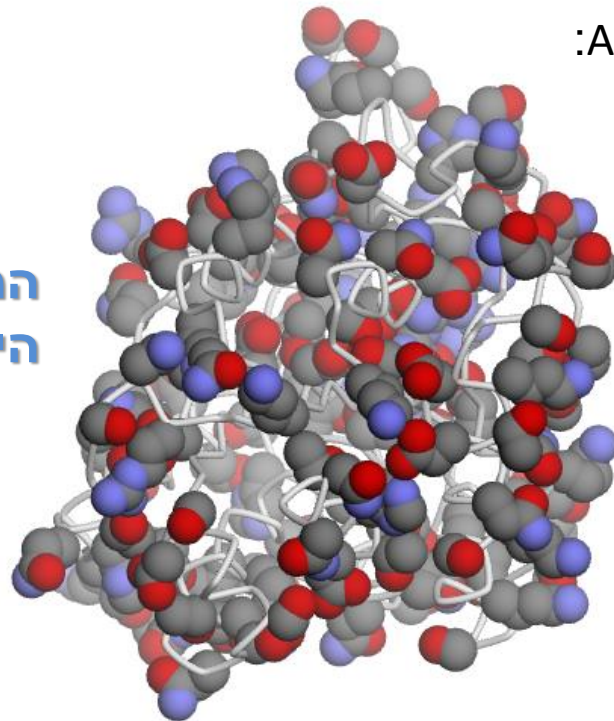


שלד החלבון

מבנה שלישוני כדורי (גלובולרי)

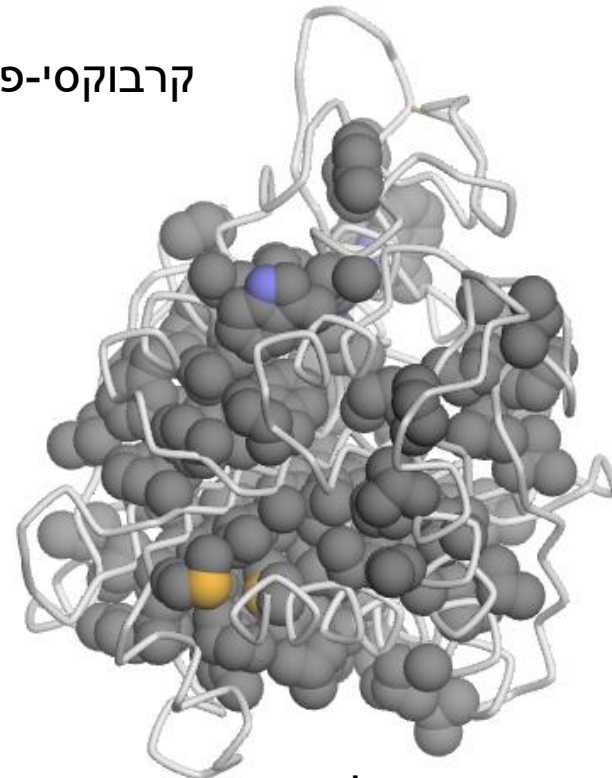
חלבונים שמסיסים בתמיסה מימית (כגון, הציטופלסמה) מקופלים בדרך כלל בצורה כדורית כך ששיירי הצד ההידרופוביים מצויים בלב המבנה הכדורי ואילו שיירי הצד ההידרופיליים מקיפים את החלבון על פני השטח שלו.

קרבוקסי-פפטידאז A:



המעטפת
הידרופילית

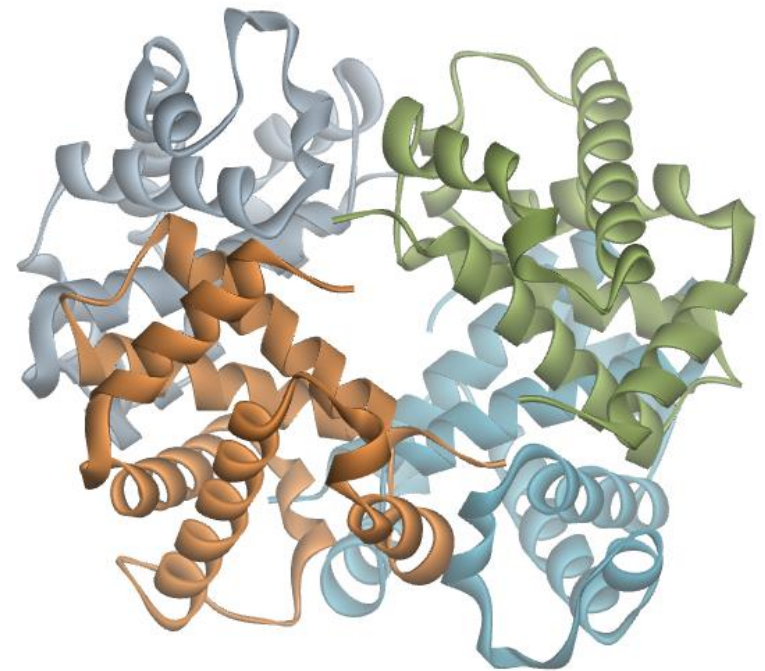
האטומים של שיירי צד הידרופיליים
מוצגים ככדורים



הליבה
הידרופובית

האטומים של שיירי צד הידרופוביים
מוצגים ככדורים

המבנה הרביעוני הוא המבנה המרחבי של 2 או יותר שרשרות חלבון ביחד. לכל שרשרת מבנה שלישוני משלה והמבנים השלשוניים מסודרים במרחב ביחד ומוחזקים על ידי קשרי מימן, אינטראקציות ו.ד.ו וקשרים יוניים. המבנה הרביעוני קיים רק בחלק מהחלבונים.



ריבונוקלאז H מורכב משלוש שרשרות חלבון שונות

המוגלובין מורכב מארבע שרשרות חלבון זהות

רצף חומצות האמיניות של חלבון קובע את המבנה המרחבי שלו 

הפעילות של החלבון תלויה במבנה המרחבי שלו 

כאשר מבנה החלבון נפגע, החלבון הופך לא פעיל. פגיעה בחלבון יכולה להיות כתוצאה מתנאי סביבה או מפגם פנימי (מוטציה, שינוי ברצף החלבון) 

○ נקודה למחשבה:

אילו תנאים חיצוניים יכולים לגרום שינוי במבנה החלבון?

דנטורציה היא שינוי המבנה המרחבי של חלבון (או חומצות גרעין) הנגרמת עקב שינויים בסביבת המולקולה, כגון:

- טמפרטורה - רמת pH

- ריכוז יונים - נוכחות חומרים שונים

שינויים אלה משפיעים על קשרים המייצבים את המבנה השלישוני.



בהכנת יוגורט מכניסים לחלב חיידקים המבצעים תהליך של תסיסה שבמהלכם מופקת חומצה לקטית. החומצה מורידה את ה-pH וגורמת לדנטורציה של חלבונים המאבדים את מסיסותם ושוקעים כך שנוצר המרקם הסמיך של היוגורט



בטיגון ביצה, כאשר הטמפרטורה עולה, החלבונים שבביצה (בעיקר אלבומין) מאבדים את המבנה שלהם והופכים למשקע לבן. זה נגרם מכיוון הקשרים הלא קוולנטים בין חומצות האמינו נשברים והמבנה קורס למבנה אקראי.

רצף החלבון (המבנה הראשוני) קובע את מבנה החלבון ומבנה החלבון קובע את פעילות החלבון

מגדירים 4 רמות מבנה של חלבונים: מבנה ראשוני, שניוני, ושלישוני שקיים אצל כל החלבונים ומבנה רביעוני (לא קיים אצל כל החלבונים)

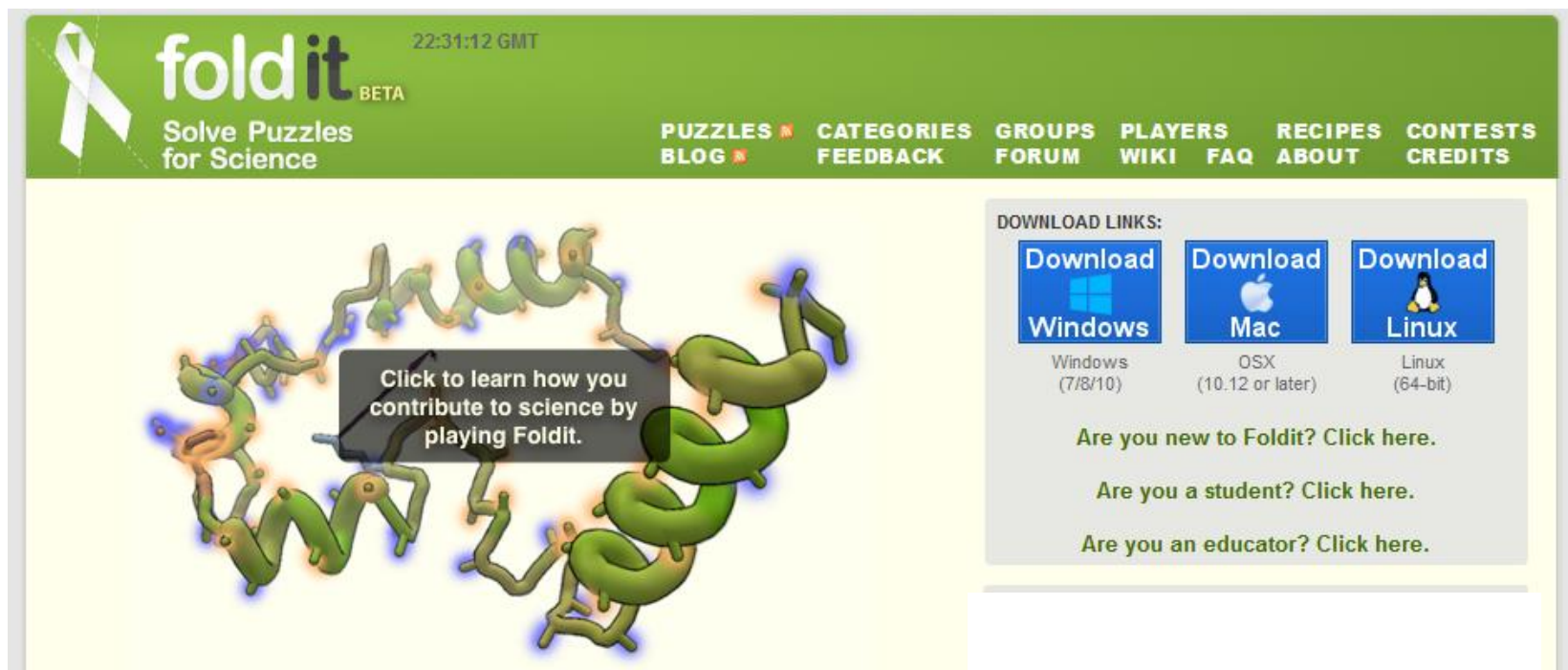
כל רמה מאופיינת בקשרים אחרים שמייצבים אותה: במבנה ראשוני קשרים קוולנטים, במבנה שניוני קשרי מימן בשלד החלבון, במבנה שלישוני קשרי מימן, אינטראקציות ו.ד.ו, קשרים יוניים וקשרי דו גפרית



לסיום שיר:

<https://youtu.be/n2ilSEYc37g>

למי שמעוניין לשחק בקיפול חלבונים:



foldit BETA
Solve Puzzles for Science

22:31:12 GMT

PUZZLES NEW CATEGORIES GROUPS PLAYERS RECIPES CONTESTS
BLOG NEW FEEDBACK FORUM WIKI FAQ ABOUT CREDITS

Click to learn how you contribute to science by playing Foldit.

DOWNLOAD LINKS:

Download	Download	Download
		
Windows	Mac	Linux
Windows (7/8/10)	OSX (10.12 or later)	Linux (64-bit)

Are you new to Foldit? [Click here.](#)

Are you a student? [Click here.](#)

Are you an educator? [Click here.](#)

[/https://fold.it](https://fold.it)