



**מספר הקורס:** 1020019

**שם הקורס בעברית:** מסע בהיסטוריה של מדעי המוח – מחשמל ומכימיה להתנהגות,  
חשיבה ולמידה

**שם הקורס באנגלית:** **A Journey Through the History of Neuroscience: From  
Electricity and Chemistry to Behavior, Thought, and Learning**

**שנה"ל:** תשפ"ד

**שם המרצה:** ד"ר גלעד יעקובסון

**שם תכנית הלימודים:** התוכנית ללימודים הומניסטיים

**סיווג הקורס:** שיעור

**משך והיקף הקורס:** שנתי, 2 ש"ש

**נקודות זכות אקדמיות:** 4 נ"ז

**דרישות קדם:** ללא דרישות קדם

**מועד שעות הקבלה:** יום שלישי בין השעות 10:00-13:00 בתיאום מראש

**פרטי קשר של המרצה:** [giladj@gmail.com](mailto:giladj@gmail.com)

### **תיאור הקורס:**

חקר המוח הוא אחד התחומים המרתקים ביותר במחקר העכשווי. פסיכולוגים קוגניטיביים, פיזיקאים, ביולוגים, אנשי מדעי המחשב, בלשנות ופילוסופיה חוברים יחד כדי לנסות ולהבין כיצד פועל המוח. במקביל, ההבנה שלנו את המוח מובילה כבר כעת לפיתוח טכנולוגיות שיתנו מזרז לחולים רבים: חולי מחלות ניווניות כגון אלצהיימר ופרקינסון, פגועי נפש, קטועי גפיים ועוד. הקורס יתחיל בסקירה היסטורית בה נראה כיצד תפיש האדם הקדמון והאדם בעת העתיקה את מקום מושב המחשבה, החיות והרגש בגוף. נמשיך ונראה כיצד בעת החדשה מדעי המחשבה התפתחו עקב בצד אגודל עם התפתחות תחומי ידע אחרים, כגון כימיה ופיסיקה ומאוחר יותר פסיכולוגיה. בליבת הקורס נפתח את ההבנה שלנו של מדעי המחשבה מכמה נקודות מבט. ראשית נלמד כיצד מתקשרים תאי עצב זה עם זה על ידי אותות חשמליים וכימיים, ונבין את מבנה תא העצב. לאחר מכן נדון במערכות חוש (ראיה, שמיעה וריח), ונראה כיצד אותות מהעולם החיצון מתורגמים לאותות עצביים. מכאן נגיע לדון בתפישה חושית, ועל הדרך בה ההנחות שלנו על העולם מכתבות את הדרך בה אנחנו מפרשים מידע מהחושים. לאחר מכן נלמד על הדרך בה רשתות של תאי עצב לומדות מידע חדש, ודרך כך נדון בקשר בין התפתחות מדעי המחשב ומדעי המחשבה. לסיום, נדון במגוון נושאים המעסיקים את מדעי המחשבה בעת האחרונה: ריפוי מחלות עצביות ופסיכיאטריות,

מפות מרחביות וקוגניטיביות במח, קבלת החלטות, ושליטה במערכת העצבים באמצעות שיטות גנטיות ואחרות.

### **מטרות הקורס:**

בקורס ייחשפו הסטודנטים לאחד הנושאים שבחזית המחקר המדעי כיום – מדעי המח. זהו תחום מדעי בעל גבולות לא ברורים, שמאתגר את האנושות מבחינה טכנולוגית, אתית ופילוסופית. בקורס נבנה בסיס ידע באמצעותו נוכל לדון בסוגיות אלו. מטרת הקורס היא לפתח הבנה של התהליך המדעי, לפתח יכולת קריאה ביקורתית של תוצאות מדעיות (תוך הבנת הפער שבין מחקר מדעי לבין הדרך בה הוא מתווך לציבור הרחב), וליצור הכרות עם המורכבות של מערכת העצבים מחד, ועם ההישגים המרשימים של מדעי המח בעשורים האחרונים מאידך.

### **חובות הקורס והרכב הציון בקורס:**

- משימת בית (אחרי שיעור 8): 10%  
המשימה מחייבת הורדת תכנה חינוכית שמאפשרת ביצוע סימולציה של פעילות תא עצב (hhsim), ומענה על מספר קטן של שאלות. היקף הכתיבה הנדרש: כ-2 עמודים.
- בוחן (שיעור 9): 5%
- בוחן (שיעור 20): 5%
- עבודת אמצע (להגשה בתחילת סמסטר ב'): 20%  
עבודת האמצע תיעשה בזוגות. כל זוג יצטרך לבחור מאמר מהעיתונות היומית שטוען טענה מדעית הנוגעת למדעי המח, ולהשוות בין הטענות כפי שהן מובאות בכתבה לבין המאמר המקורי עליו מסתמכת הכתבה. היקף הכתיבה הנדרש: כ-3 עמודים.
- עבודה סופית: 60%  
העבודה המסכמת של הקורס תדרוש מכל תלמיד ותלמידה לסכם גוף ידע מדעי באופן ביקורתי. העבודה מסתמכת על קריאה של מאמר מדעי אחד המציג תוצאות מקוריות, ושל מאמר סקירה (review) אחד לפחות, כדי להעשיר את הידע בנושא העבודה, להבין את ההקשר שבו נעשה המחקר ולאפשר קריאה ביקורתית בו. היקף העבודה: 3-5 עמודים של טקסט (ללא הצלמיות המובאות מהמאמר כדי להמחיש גרפית את הממצאים).
- ציון עובר בקורס: 60

### קריאה מומלצת כללית:

בספריה יש כיום מגוון לא קטן של ספרים במדעי המח. כדאי במיוחד לציין את שני "ספרי התנ"ך" של מדעי המח, האחד יותר פיזיולוגי, השני יותר פסיכולוגי-קוגניטיבי:

- Kandel and Schwartz / *Principles of Neural Science*, 5th Edition
- Gazzaniga / *Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind*, 4th Ed.

ספרים עבי כרס אלו מכסים כמעט כל נושא אפשרי, ואפשר להשתמש בהם כמעין אנציקלופדיה, כדי להעמיק בנושא כלשהו שמעניין אתכם, כגון המערכת האוטונומית, חוט השדרה, התמכרות, ראייה, שיווי משקל.

### הבהרה בנוגע לקריאת החובה בקורס:

הקורס הנו קורס מבוא מדעי, וככזה הוא מתמקד בהעברת חומר באופן פרונטלי. קריאת החובה בקורס מתבססת ברובה על קריאת מאמרים מדעיים באנגלית, המתאפיינים בדחיסות גבוהה מאד של מידע ובצורך לפענח מידע המרוכז באופן גרפי. זהו אתגר גדול אפילו עבור סטודנטים וסטודנטיות למדעים בשנים מתקדמות, ועל אחת כמה וכמה לסטודנטים וסטודנטיות ללימודים הומניסטיים בשנת הלימודים הראשונה. לכן חשוב להבהיר את מטרת הקריאה, ואת האופן המודרך שבו היא תתבצע:

- מטרת קריאת המאמרים במהלך הקורס היא לפתח באופן הדרגתי יכולת התמודדות עם טקסט מדעי ועם הצגה גרפית של נתונים.
- לקראת כל מאמר חובה איתו נתמודד בקורס, יועלה דף הנחיות באתר הקורס.
- מטרת דף ההנחיות תהיה **לצמצם את היקף הקריאה להיבט אחד או שניים בלבד של המאמר.**
- דף ההנחיות יכיל שאלות מכוונות שיבהירו במה יש להתמקד.
- בהתאם לכך, היקף העבודה שיידרש בקריאה יהיה מצומצם, ויאפשר להתמקד ברכישה הדרגתית של מיומנויות. **לא תידרשו לקרוא מאמר מדעי מתחילתו ועד סופו למעט במסגרת עבודת האמצע ועבודת הסיום.**

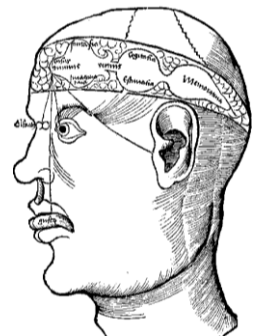
סמטר א'

שיעור מס' 1:



על מה אנחנו מדברים כשאנחנו מדברים על מדעי המח – הקדמה וספוילר  
בשיעור זה נסקור את נושאי הקורס, את השאלות שיעניינו אותנו, כל זאת תוך מתן דוגמאות  
נרחבות שידגימו את ההשקה של מדעי המח לתחומי ידע אחרים: פסיכולוגיה, רפואה,  
פילוסופיה, מדעי המחשב, ועוד.

שיעור מס' 2:



**ממיתוס למדע, מלב למח – מבוא היסטורי I**

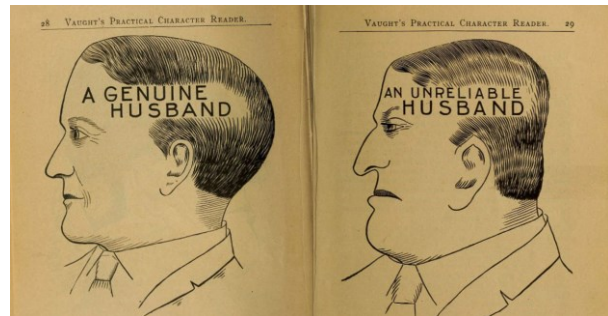
בשיעור זה נדון בהיסטוריה של החשיבה האנושית על מושב המחשבה והרגש, מתקופת האבן  
המאוחרת ועד לראשית המהפכה המדעית. נמשיך ונדון בדוקטרינת הניורון, וכיצד מדעי המח  
התפתחו יד ביד עם ראשית הפיסיקה והכימיה.

קריאה לקראת השיעור (רשות):

• נאום הנובל של Santiago Ramón y Cajal  
y Cajal, S. Ramon. "Nobel Lectures: Physiology or Medicine (1901-1921)."  
(1967): 220-253.

• נאום הנובל של Camillo Golgi  
Golgi, Camillo. "The neuron doctrine: theory and facts." Nobel lecture 1921  
(1906): 190-217.

### שיעור מס' 3:



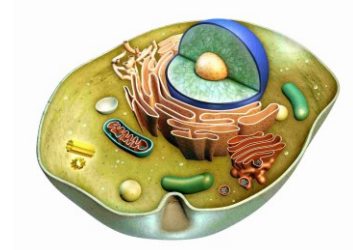
#### **איה מקום מוחו? – שאלת הלוקליזציה במח – מבוא היסטורי II**

בשיעור זה נדון בויכוח עתיק סביב שאלת הלוקליזציה: האם ניתן לשייך תפקודים שונים למיקומים שונים במח? נדון בהיבטים הפילוסופיים שהטרידו מדענים ופילוסופים במאה ה-18, נתאר את המדע והפסוודו-מדע שפרחו במאה ה-19, נדון בפגיעות ראש מפורסמות ונגיע עד ימינו אנו.

קריאת חובה לקראת השיעור:

Gross, Charles G. "Aristotle on the Brain." *The Neuroscientist* 1, no. 4 (1995): 245-250.

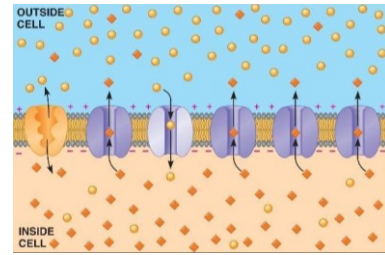
### שיעור מס' 4:



#### **התא הביולוגי – קווים לדמותו**

בתחילת השיעור נדון בהופעתה של התיאוריה התאית משליידן ועד ימינו, והשינוי שהיא חוללה. נדון בדרכים בהם התא הביולוגי מבדל את עצמו מהסביבה. עיקר השיעור יוקדש לסקירה היסטורית של גילוי הדרך בה המטען הגנטי מקודד (DNA) ומתורגם לחלבונים בתהליכי שעתוק ותרגום. נביט בתהליכים אלו דרך שאלות הקשורות ליכולת נשיאת אינפורמציה של מולקולות שונות. שיעור זה מהווה מבוא הכרחי לדיון – בשיעור הבא – בתכונותיהם הייחודיות של תאי עצב, שבסופו של דבר הם סוג מסוים של תא ביולוגי.

## שיעורים מס' 5-6



### **כעין החשמל – כיצד רותמת הביולוגיה את הכימיה לייצור אותות חשמליים?**

איך הופך תא ביולוגי לנשא של מתח חשמלי? כיצד מנצלים תאים ביולוגים אותות חשמליים כדי לתקשר זה עם זה? בשיעורים אלו נדון בבסיס הביולוגי והכימי של יצירת חשמל, ונתאר את כושר ההמצאה המופלא של הטבע, בבואו ליצור מנגנון שמאפשר תקשורת מהירה, שהיא הבסיס לפעילות עצבית.

### קריאה מומלצת:

חלק שלישי, מתוך ספר הרשת "מוח, תרופות וסמים" של מכון ויצמן, עמ' 143-156 (לפני הכותרת "סינפסות"). קישור:

<https://stwww1.weizmann.ac.il/wp-content/uploads/2016/08/a9.pdf>

## שיעור מס' 7-8

### **מי אמר למי ובאיזה הקשר? – תקשורת במערכת העצבים**



כיצד מתבצעת התקשורת בין תאי עצב לבין שרירים? ובינם לבין עצמם? בשיעורים אלו נדון באחת השאלות הקשות ביותר שחוקרי מח התמודדו איתן החל מהמאה ה-19 ועד לשנות השבעים של המאה העשרים – האם התקשורת העצבית היא כימית או חשמלית. נתאר את הניסוי המבריק של Otto Loewi ושאר שלבים בפתרון חידה זו. בסופו של דבר נגיע אל תיאור של מערכת העצבים כמכונה המשלבת חשמל וכימיה באופן ייחודי.

### קריאה מומלצת לקראת שיעור 7:

נאום פרס הנובל של Otto Loewi משנת 1936:

Loewi, Otto. "The chemical transmission of nerve action." Nobel lecture (1936)

לאחר שיעור 8, תהיה משימת בית בהיסקף קטן בה תידרשו לחקור סימולציה של תא עצב.

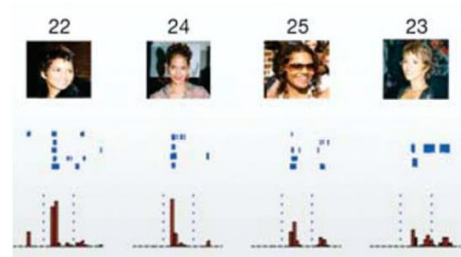
### קריאה מומלצת לקראת שיעור 8:

נאום פרס הנובל של Bernard Katz משנת 1970:

Katz, B. "Nobel lecture: On the quantal mechanism of neural transmitter release." Nobel Lectures, *Physiology or Medicine* 1970 (1963): 485-492.

### שיעור מס' 9-10

**מפיקסלים ו-RGB עד ג'ניפר אניסטון והטאג' מהאל – ההיררכיה של עיבוד הראיה במח**



### **שיעור 10 יחל בבוחן קצר!**

שיעור ראשון על מערכת הראיה. בשיעור זה נדון בדרך בה העין מתרגמת את העולם הפיסיקלי ומדווחת עליו למח. נדון בתיאוריות של תפישת צבע, החל מ-Goethe, דרך Helmholtz ועד למדע המודרני. נציג כיצד קליפת המח מעבדת את העולם הראייתי באופן הדרגתי, מגירויים פשוטים כגון נקודות וקווים, ועד לגירויים מורכבים כגון פרצופים.

### קריאת חובה לקראת שיעור 9:

3-4 הדקות הראשונות של ההרצאה של Prof. Botond Roska:

<https://www.youtube.com/watch?v=StjplVpo9Cc>

### קריאת חובה לקראת שיעור 10:

Cerf, Moran, Nikhil Thiruvengadam, Florian Mormann, Alexander Kraskov, Rodrigo Quian Quiroga, Christof Koch, and Itzhak Fried. "On-line, voluntary control of human temporal lobe neurons." *Nature* 467, no. 7319 (2010): 1104-1108.

### שיעור מס' 11

#### **כגודל הציפיות או כגודל הרֵאיוֹת – מה בדיוק אנחנו רואים?**



שיעור שני על מערכת הראיה. בשיעור זה נדון בתפישה ראייתית. האם אנחנו רואים את העולם הפיסיקלי? או שהמח רואה את הסְכּמוֹת שהוא מניח לגבי העולם, ממנו הוא מקבל רק רמזים קלושים? נספק עדויות מתוך אשליות אופטיות ונדון באסכולה חשובה של תפישה חושית – אסכולת ה-Gestalt של ראשית המאה ה-20.

### שיעור מס' 12

#### **קול דְּבָרִים אֲתֶם שֹׁמְעִים – מערכת השמיעה**



בשיעור זה נדון בעולם האקוסטי שסובב אותנו, ובדרך בה מערכת השמיעה מעבדת אותו. נדון בהבדלים בין תכונות פיסיקליות של גירויים (תדר, משרעת, מבנה ספקטראלי) לבין התכונות התפישיות (גובה, עצמה, גוון...), ונלמד להעריך את הקושי הרב העומד בפני המח בבואו לפרש את העולם האקוסטי דרך דוגמאות שונות.

### שיעור מס' 13

#### **קול דְּבָרִים אֲתֶם שֹׁמְעִים – מערכת השמיעה - המשך**



בשיעור השני על מערכת השמיעה נשאל כיצד רשתות עצבים קטנות מסוגלות לבצע חישובים משמעותיים, ובמקרה של מערכת השמיעה – כיצד מחשבת מערכת השמיעה את מיקומם של האובייקטים אותם היא שומעת?  
בחלקו השני של השיעור בסמסטר ב' נדון בשיטות השונות העומדות לרשותנו כדי לרשום פעילות עצבית של המח.



קריאת חובה לקראת שיעור 13:

Amedi, Amir, Gilad Jacobson, Talma Hendler, Rafael Malach, and Ehud Zohary. "Convergence of visual and tactile shape processing in the human lateral occipital complex." *Cerebral cortex* 12, no. 11 (2002): 1202-1212.

**סמטר ב'**

שיעור מס' 14

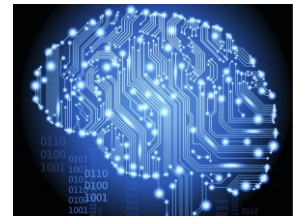
**חישוביות עצבית I – האם למידה סינפטית יכולה לעמוד בבסיס תופעות מורכבות כהתניה?**



כיצד יכולים תאי עצב ללמוד? בשיעור זה נדון בסוגיה זו, ונדון בדרך בה חוק למידה פשוט ומקומי, יכול להסביר סוגי למידה מסויימים, כמו התניה קלאסית ואופרנטית, בהן גירוי נייטרלי הופך להיות בעל משמעות ולייצר תגובה התנהגותית.

שיעור מס' 15

**חישוביות עצבית II – למידה בניורונים וברשתות ניורונים**



מהו הכח החישובי של תא עצב בודד? ושל רשת שלמה? כיצד ניתן לאמן רשת ניורונים על מחשב לייצר תגובות רצויות על ידי "הנחיה", ומהו ה-deep learning שכולם מדברים עליו כעת? מהו זכרון אסוציאטיבי ואיך הוא יכול להיאגר בתוך קשת ניורונים? תוך כדי מסע זה נדון בדרך בה מדעי המחשב ומדעי המח הפרו זה את זה במהלך מאה השנים האחרונות.

קריאת חובה לקראת שיעור 15:

Epstein, Robert. "The empty brain." Aeon (May 18, 2016)

<https://alaxon.co.il/article/אנחנו-לא-מחשבים>

## שיעור מס' 16

### ראה ריח בני - מערכת הריח: מאבולוציה ועד להתנהגות חברתית



הריח הוא החוש העתיק ביותר בעולם הטבע. בחלקו הראשון של השיעור נראה כיצד בנויה מערכת הריח, ונדון בתופעה מרתקת – כיצד מערכת הריח הומצאה באופן עצמאי מספר פעמים באבולוציה, כשבכל פעם נוצרה מערכת עיבוד כמעט זהה. בחציו השני של השיעור נדון בתפקיד החשוב של מערכת הריח בתקשורת חברתית, ונציג את מערכת הריח המשנית, שכמעט לא מוכרת.

### קריאה מומלצת לקראת שיעור 16:

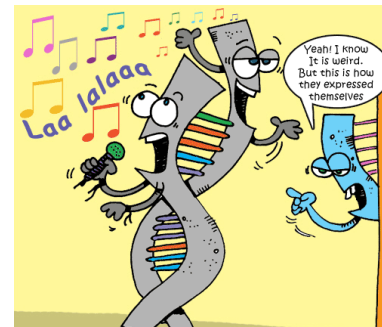
נאום פרס הנובל של Linda Buck משנת 2004:

Buck, Linda B. "Unraveling the sense of smell. Nobel Lecture, December 8, 2004." (2013): 267-83.

<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2004/buck/lecture/>

## שיעור מס' 17

### הרצאת אורח של ד"ר אולה קלבנוב – נושא יפורסם



## שיעור מס' 18-19

### המערכת המוטורית – מרפלקסים ועד נגינה וריקוד



כיצד פועלת המערכת המוטורית? נתחיל מתיאור מערכות רפלקסים ותנועה מתואמת הקיימות כבר בחוט השדרה, ונעבור לדון במערכת המוטורית בקליפת המוח, והקשר האינטימי שלה עם חוש המישוש במובנו הרחב (כולל חוש ההתמצאות של הגוף במרחב). הנושא יקרב אותנו בין השאר לשתי סוגיות מרתקות: (1) איך אנחנו לומדים? (2) איך אנחנו מתקנים את הפעילות שלנו בעולם בזמן אמת?

#### קריאת חובה לקראת שיעור 18:

Wu, Zheng, Anita E. Autry, Joseph F. Bergan, Mitsuko Watabe-Uchida, and Catherine G. Dulac. "Galanin neurons in the medial preoptic area govern parental behaviour." *Nature* 509, no. 7500 (2014): 325-330.

#### קריאת חובה לקראת שיעור 19:

Prsa, Mario, Gregorio L. Galíñanes, and Daniel Huber. "Rapid integration of artificial sensory feedback during operant conditioning of motor cortex neurons." *Neuron* 93, no. 4 (2017): 929-939.

## שיעור מס' 20

### חשמל זורם בכפות סנפיריך – חישה חשמלית בדגים



בשיעור זה נציג חוש שאין לבני אדם – החוש החשמלי. חוש זה התפתח בעיקר ביצורים החיים בסביבה מימית, וקיים בשתי אוכלוסיות דגים באפריקה ובדרום אמריקה. נדון בסיבות האקולוגיות להתפתחות חוש זה, בדרך בה הוא פועל, ובשימוש המרתק שעושים דגי חשמל בתקשורת חשמלית.

## שיעור מס' 21

### ה-Waze המוחי – כיצד אנחנו מתמצאים במרחב?



בשיעור זה נכיר לראשונה את ההיפוקמפוס – האזור במח בו נמצאת המפה באמצעותה אנחנו מתמצאים במרחב. נדון בהיבטים התיאורטיים שהובילו חוקרים להאמין שמפה כזאת קיימת במח, ונתאר את התגליות השונות הקשורות אליה.

קריאת חובה לקראת שיעור 21:

Tolman, Edward C. "Cognitive maps in rats and men." *Psychological review* 55, no. 4 (1948): 189.

קריאה מומלצת לקראת שיעור 21:

הרצאת פרס נובל של Edvard Moser משנת 2014

Moser, Edvard I. "Grid cells and the entorhinal map of space." *El Moser/Nobel Prize in Physiology or Medicine Nobel Lecture 71214*.(2014)

הרצאת פרס נובל של John O'Keefe משנת 2014

O'Keefe, J. "Nobel lecture: Spatial cells in the hippocampal formation." *Nobel Media AB*.(2014)

## שיעור מס' 22

### מערכות התגמול במח – מתפקוד רגיל ועד למחלות, תרופות וסמים



בשיעור זה נדון בתפקידן של מערכות התגמול במח. אלו הן מערכות המפרשות את הערך של אירועים בעולם, ומדווחות לשאר מערכת העצבים מידע על ציפיות, על תגמול ועל הפתעות. הניורטרנסמיטרים המעורבים במערכות אלה – דופמין, סרוטונין, אנדורפין ועוד – מעורבים גם במחלות נפש, בהתמכרויות ובמצבי רוח.

קריאת חובה לקראת שיעור 22:

Fiorillo, Christopher D. "Two dimensions of value: dopamine neurons represent reward but not aversiveness." *Science* 341, no. 6145 (2013): 546-549.

## שיעור מס' 23-24

### פילוסופיה ומדעי המח



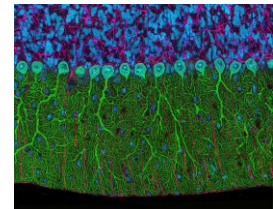
בשיעורים אלה נדון בנקודות בהן מדעי המח משיקים לפילוסופיה. נדון בסוגיות פילוסופיות חדשות כישנות, שמאורות באור חדש על רקע התפתחויות במדעי המח. נדון בשאלת ה-agency (סוכנות), תפישת מיקום הגוף במרחב וגופניות (embodiment), שאלות מוסריות ועוד. קריאה מומלצת לקראת שיעור 23:

Christov-Moore, Leonardo, Paul Conway, and Marco Iacoboni.

"Deontological dilemma response tendencies and sensorimotor representations of harm to others." *Frontiers in integrative neuroscience* 11 (2017): 34.

## שיעור מס' 25

הצרבלום (המוחון) – על המפגש המפתיע בין אנטומיה, פעילות מוחית ותיאוריה חישובית, ועל שאלות פתוחות במדע



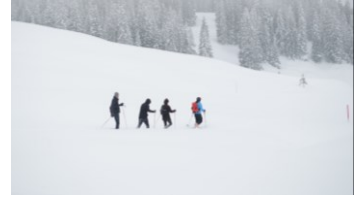
בשיעור זה נציג את הצרבלום – המוחון – אזור מוחי המתאפיין באנטומיה תאית כה מדויקת וסדירה עד כי נהוג לדמות אותה לגביש. בניגוד לפשטות האנטומית, ישנה אי-הסכמה עמוקה לגבי תפקוד אזור מח זה. נציג בשיעור זה תיאוריות מתחרות לתפקודו של הצרבלום, את העדויות הניסוייות הסותרות, ולבסוף ננסה לגבש תיאוריה אחודה של תפקוד האזור.

קריאת חובה לשיעור 25:

Jacobson Gilad A, Dan Rokni and Yosef Yarom.

"A model of the olivo-cerebellar system as a temporal pattern generator". *Trends in Neuroscience* 31(12) (2008): 617-625.

**האם המח הוא מכונה לא מדויקת?**



לכבוד השיעור האחרון נדבר קצת על המדע כפעילות אנושית. מי הם המדענים? כיצד הם מקבלים מימון למחקריהם? מי מבצע את המחקר ובאילו תנאים? כיצד מתפרסמות תוצאות מדעיות? כיצד נראים חיי היום יום של מדען? את הדיון נקיים דרך דיון בפרויקט מחקרי אחד, מהשלב בו הוא נהגה כמעט במקרה ועד לפרסום בכתב עת מדעי, מנקודת מבט אישית.