



כנס מיט"ל ה-22  
24 ביולי 2024

# שילוב חומרי למידה דיגיטליים במעבדות הוראה בכימיה: מהתמקדות במיומנויות טכניות לפיתוח של מיומנויות של חשיבה מחקרית עצמאית



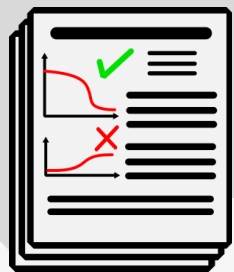
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב  
Ben-Gurion University of the Negev

ד"ר אלינה גולדשטיין-לויטין





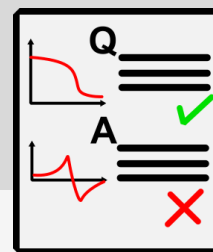
# קורס מעבדה בכימיה כללית ואנליטית הוא קורס יסוד בשנה א'



דו"ח עיבוד  
תוצאות



עבודה מעשית



בוחן כניסה  
למעבדה



למידה עצמאית  
של רקע תיאורטי

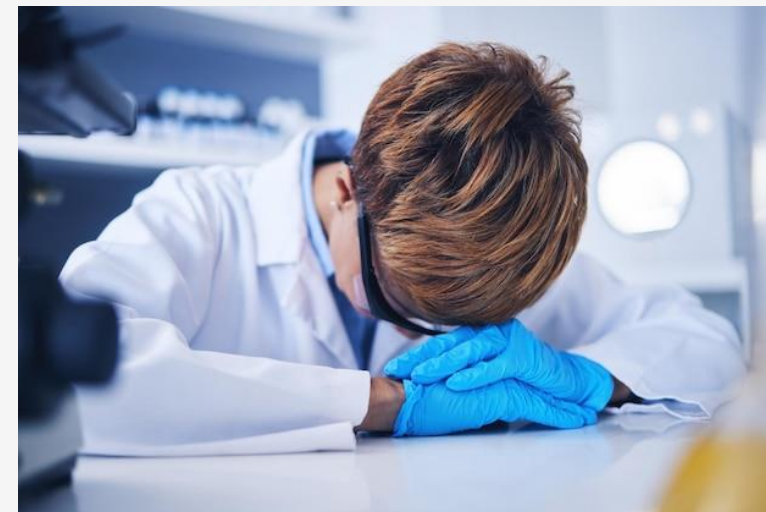


BGU





# בפועל המעבדה השיגה חלקית את מטרותיה



למה הריכוז מהטיטרציה היה שונה מהריכוז בפועל?  
**הכלים היו מלוכלכים! טעות אנוש!**

למדתי כל כך הרבה זמן ולא הצלחתי בבוחן!



BGU





# בפועל המעבדה השיגה חלקית את מטרותיה

www.



דו"ח עיבוד  
תוצאות



עבודה מעשית



בוחן כניסה  
למעבדה



למידה עצמאית  
של רקע תיאורטי

**לומדים רקע תיאורטי בטקסט בלבד (לרוב הרקע התיאורטי היה חלקי)  
לא יודעים לסנן וללמוד ממקורות**

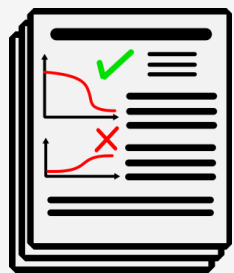


BGU





# בפועל המעבדה השיגה חלקית את מטרותיה



עיבוד תוצאות



עבודה מעשית



רקע תיאורטי

**לא מצליחים לקשר בין הרקע התיאורטי לניסוי המעשי**  
**לא מצליחים ליישם מיומנויות**





# מטרות שינוי הקורס

התאמת התוכן הלימודי לרמת הידע ההתחלתי  
הנגשת התכנים באמצעים ויזואליים ומולטימדיה  
חיבור חזק בין תיאוריה לפרקטיקה  
יישום מדורג של המיומנויות הנלמדות  
עבודה עם מקורות אמינים ומהימנים





**ניסוי 1:** חומצות ובסיסים

**ניסוי 2:** אנליזה וולומטרית



רמת קושי הולכת ועולה



## מיומנויות נדרשות

איך להגיע מוכנים לניסוי

איך לנתח תוצאות אמפיריות

איך להרחיב ידע תיאורטי

איך לחבר בין תוצאות ניסוי לידע ספרותי

שילוב כל המיומנויות שנרכשו



**ניסוי 10:** אפיון חומצה אורגנית





# תהליך טיפוסו להכנת ניסוי

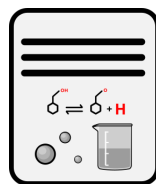




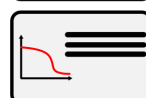
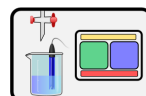


# מבנה של תכני הכנה למעבדה

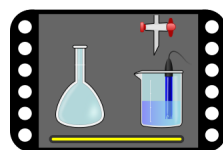
רקע תיאורטי ספציפי



מהלך ניסוי בייצוג וויזואלי



סרטון מותאם למהלך הניסוי



הסבר על עיבוד תוצאות מותאם לניסוי



שאלות הכנה לבוחן בלומדה אינטראקטיבית



שאלות לדיון



רקע תיאורטי  
במדיה בודדת  
(בטקסט בלבד)





# אסטרטגיות שונות להשגת המטרות

## התאמת התוכן הלימודי לרמת הידע ההתחלתי

רקע תיאורטי בסיסי  
בסרטוני JoVE



רקע תיאורטי בסיסי ←

רקע תיאורטי ספציפי

מהלך ניסוי

הסבר על עיבוד תוצאות

שאלות הכנה לבוחן

שאלות מתקדמות ←

רקע תיאורטי מורכב  
(ואופציונלי) בשאלות  
לדיון





Recently, a series of metal-varied model complexes  $[ML(SC_6F_5)]$  (where  $L = HB(3,6-iPr_2pz)_3^-$  and  $M^{2+} = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, \text{ and } Zn$ ), related to blue copper sites in proteins, has been synthesized and crystallographically characterized.<sup>14,15</sup> The metal atoms in  $[ML(SC_6F_5)]$  have a distorted tetrahedral coordination sphere, with one M-S bond, two short equatorial M-N bonds, and the elongated axial M-N bond. The absorption features of these complexes are similar to those of the corresponding metal-substituted sites in the proteins and the complexes show interesting systematic changes in the metal-thiolate bond lengths. The M-S bond length changes in the following order:  $Mn(II) > Fe(II) > Co(II) > Ni(II) > Cu(II) < Zn(II)$ , which follows the Irving-Williams series for the stability constants.<sup>16-18</sup> Thus, these model complexes provide a systematic way to explore the different contributions to metal-thiolate bonding.

In this study, the combination of absorption, magnetic circular dichroism (MCD), resonance Raman (rR), and S K-edge X-ray absorption spectroscopies coupled with density functional calculations has been used to characterize the electronic structure of these complexes. Absorption and MCD spectroscopies provide a method to distinguish the ligand field transitions from the charge transfer transitions, which provides insights into covalent interactions at the metal center. S K-edge XAS provides an estimate of the sulfur contribution in the ground state wave function, and the relative effective nuclear charges ( $Z_{\text{eff}}^{\text{S}}$ ) at the metal atoms. DFT calculations evaluate the trends in bond energies, force constants, and bond orders and correlate these to the nature of bonding between the metal ion and the thiolate ligand. In particular, this study examines the origin of the properties of the metal-ligand bonds for first-row transition metal complexes, the relative contributions of different covalent and ionic interactions to bonding, and how they produce the Irving-Williams series.

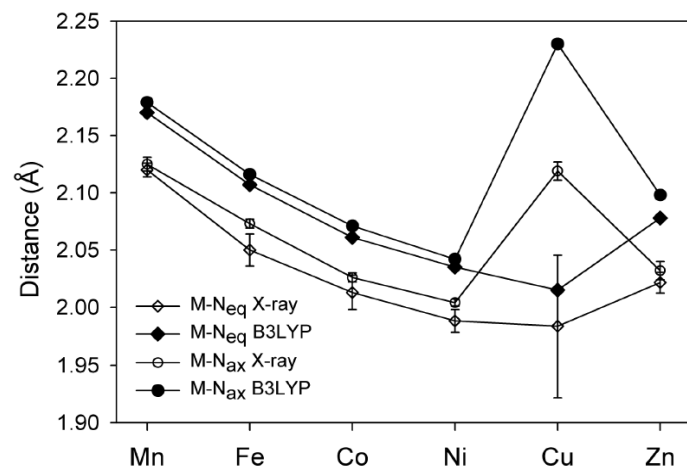


Figure 5. The experimental<sup>14,15</sup> and calculated M-N bond lengths in the  $[ML(SC_6F_5)]$  complexes.

2. למה יוני ניקל ויוני קובלט נקשרים באופן שונה לציטרט?

כדי לענות על השאלה, ניעזר במאמר מדעי (הקליקו להורדת המאמר):

[Spectroscopic and DFT Investigation of  \$\[M\{HB\(3,5-iPr\_2pz\)\_3\}\(SC\_6F\_5\)\]\$  \( \$M = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, \text{ and } Zn\$ \) Model Complexes Periodic Trends in Metal-thiolate Bonding](#)

רמז:

- עיינו באיור 5 במאמר (בעמוד 23 במאמר) וקראו את החלק המסומן בכחול במאמר (בעמוד 2 במאמר), המסביר על סדר יציבות הקומפלקסים ע"פ היון המרכזי (Irving-Williams Order).
- ע"פ חלק זה מה מסביר את סדר היציבות? איך אורך קשר משפיע על יציבות מולקולה?

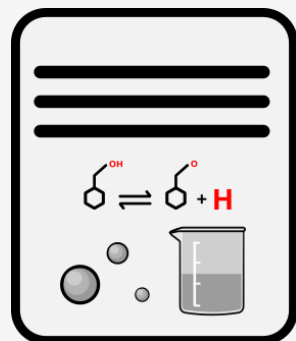




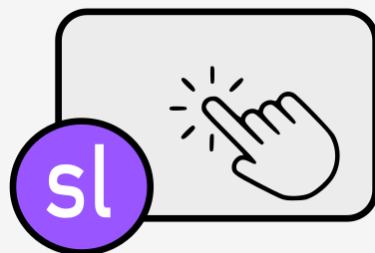
# אסטרטגיות שונות להשגת המטרות

## הנגשת התכנים באמצעים ויזואליים ומולטימדיה

רקע תיאורטי ספציפי  
תרשימים, גרפים,  
סרטונים ודוגמאות  
מוסברות



שאלות הכנה לבוחן  
בלומדה אינטראקטיבית



רקע תיאורטי בסיסי ←

רקע תיאורטי ספציפי ←

מהלך ניסוי

הסבר על עיבוד תוצאות

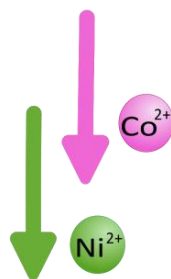
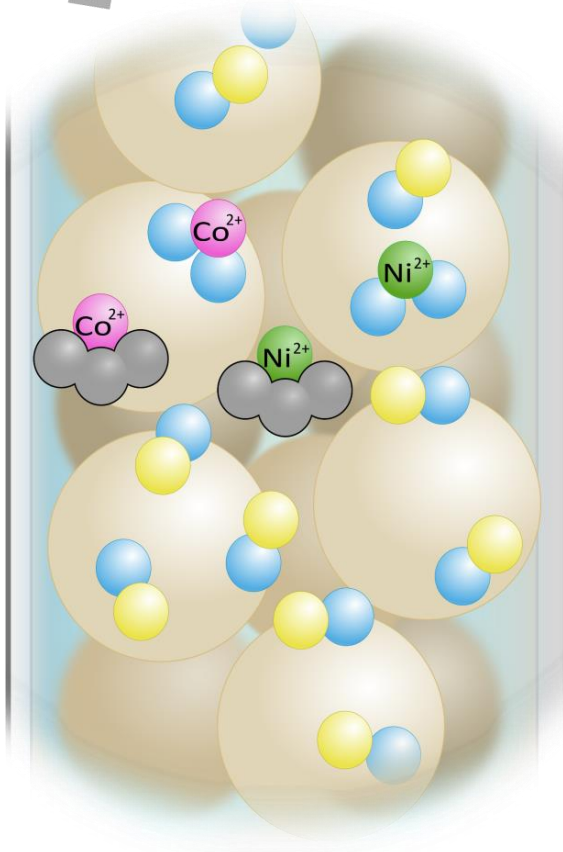
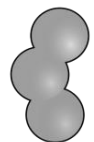
שאלות הכנה לבוחן ←

שאלות מתקדמות ←

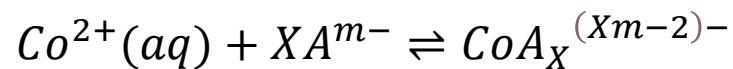
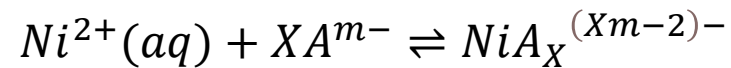




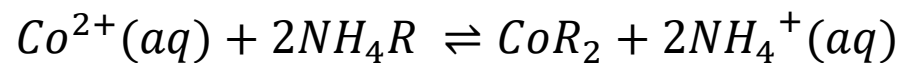
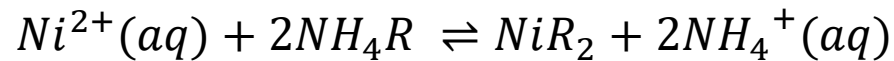
eluent



עם העברת תמיסת אמוניום ציטרט חלק מיוני הקובלט והניקל הספוחים על הפאזה הנייחת יוצאים לתוך הפאזה הניידת לפי התגובות:



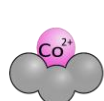
כך ששיווי המשקל של תגובות הסיפוח לשרף נוטה לכיוון המגיבים:



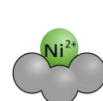
באיור חלק מהקטיונים עדיין קשורים לקבוצות הפונקציונליות (כדורים כחולים) וחלק נמצאים בקומפלקס עם יון הציטרט



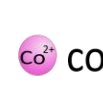
citrate



cobalt-citrate complex



nickel-citrate complex



cobalt ion



nickel ion

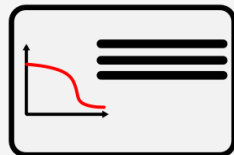
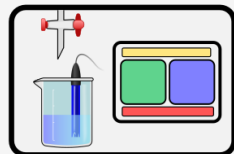
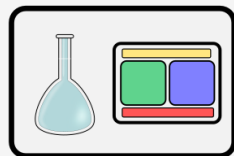




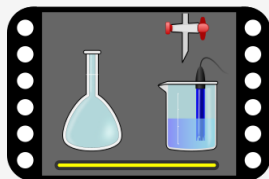
# אסטרטגיות שונות להשגת המטרות

## חיבור חזק בין תיאוריה לפרקטיקה

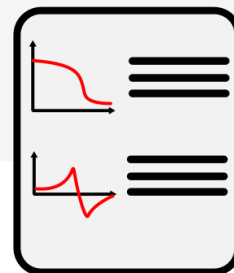
מהלך ניסוי בייצוג וויזואלי,  
איורים שהותאמו לניסויים  
הספציפיים



סרטון מותאם למהלך  
הניסוי



הסבר על עיבוד תוצאות  
מותאם לניסוי



← רקע תיאורטי בסיסי

← רקע תיאורטי ספציפי

← מהלך ניסוי

← הסבר על עיבוד תוצאות

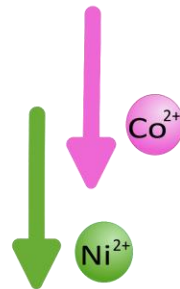
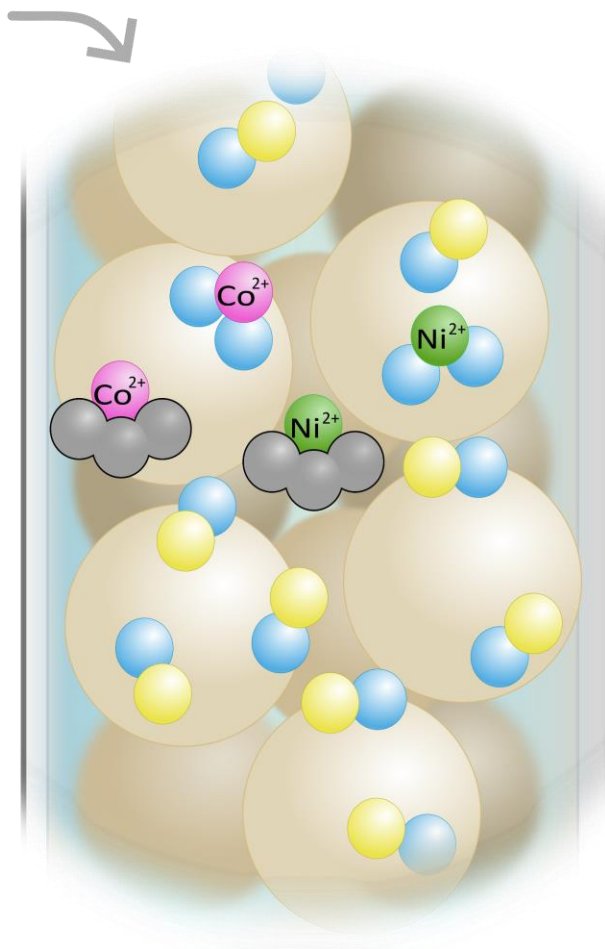
← שאלות הכנה לבוחן

← שאלות מתקדמות





eluent



### 3 – הפרדת הקטיונים עם אלואנט

תצפיות

בעת הזרמת תמיסת האלואנט, הקטיונים מתחילים להיפרד- נראה את יוני הניקל כפס ירוק ואת יוני הקובלט כפס ורוד.

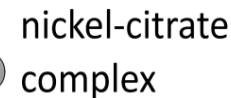
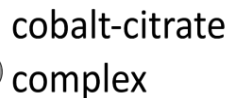
מהלך ניסוי

3-א. החלו להעביר את תמיסת האלואנט (אמוניום ציטרט pH=3.24) בקצב של 3 mL/min. מהירות גבוהה מידי או נמוכה מידי עלולה לפגוע בהפרדה.

3-ב. איספו את התמיסה היוצאת בכוס של 250 mL עד שהפס הירוק של היון הקומפלקסי של הניקל מתקרב לכדי 10 cm מתחתית העמודה.

הכנות מקדימות

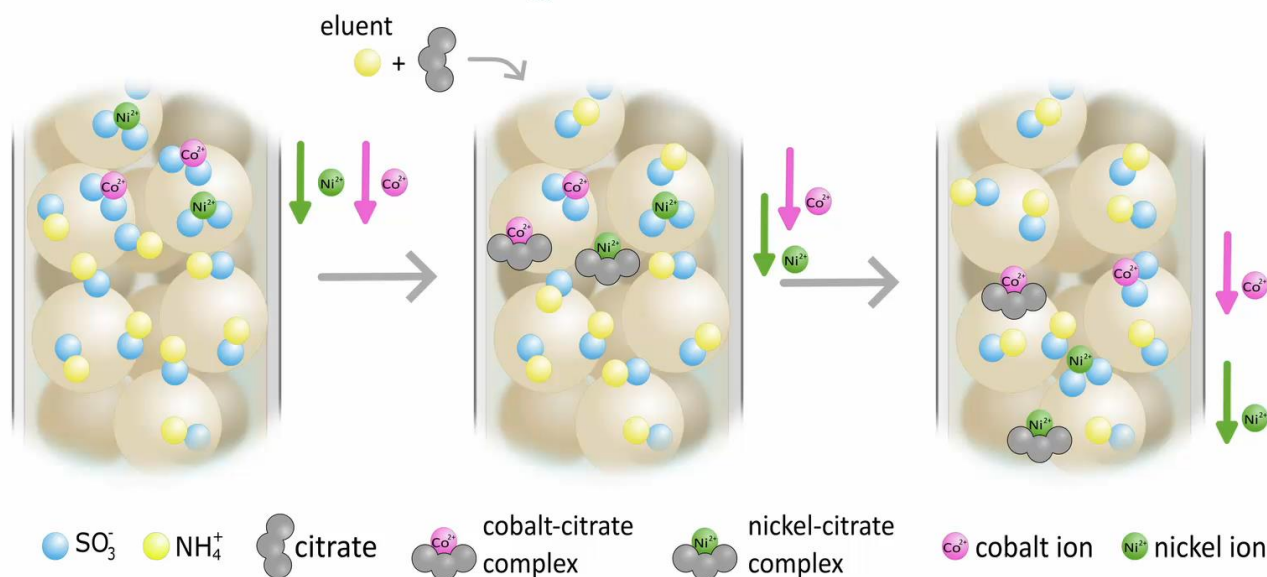
חשבו את קצב הטפטוף (ביחידות של טיפה לשניה) כך שיתאים לקצב הרצוי, בהנחה שמ"ל אחד מכיל 20 טיפות.





# סרטון ספציפי למהלך הניסוי העוזר לחבר בין התיאוריה לפרקטיקה

## ניסוי מחליף יונים







# אסטרטגיות שונות להשגת המטרות

## יישום המיומנויות שנלמדו

### ניסוי ראשון:

#### 1 - מדידת pH של תמיסות בעזרת נייר pH

צפי	מהלך ניסוי
תצפו שה-pH שחישבתם לכל תמיסה יתאים לתוצאות. רשמו את התוצאות והסברים אפשריים בטבלה	1-א. הכינו כוסות כימיות של 100 mL עם התמיסות שבטבלה משמאל.  1-ב. טבלו מקלון נייר pH אוניברסלי בכל אחת מהתמיסות במבחנות והשוו את צבעי הריבועים למקרא הצבעים של ה-pH שעל הקופסא.  רשמו את התוצאות בטבלה שהכנתם מראש (ראו בהכנות מקדימות)

#### הכנות מקדימות

חשבו את ה-pH הצפוי לכל תמיסה הכינו טבלה ובה כל התמיסות, הצפי של ה-pH לכל תמיסה והתוצאות שתקבלו בפועל (רשמו את ההסברים לתופעות בהמשך לטבלה)

### ניסוי תשיעי:

#### 3 - גרף כיוול

תצפיות	מהלך ניסוי
הבליעה צריכה לעלות באופן ליניארי ככל שריכוז התמיסה עולה	אפסו את הספקטרופוטומטר עם תמיסת הבלנק באורך הגל בו נמצאת הבליעה המקסימלית ואחר כך מדדו את הבליעה של כל אחת מהתמיסות המהולות שהכנתם.



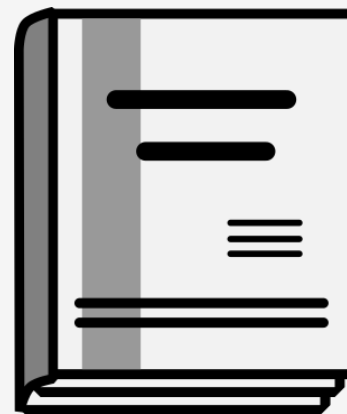


# אסטרטגיות שונות להשגת המטרות

עבודה עם מקורות אמינים ומהימנים



מאמרים



ספרים





# הסטודנטים היו מרוצים מלמידה בשילוב מולטימדיה

רמה ממוצעת של מאמץ מנטלי ותרומה ללמידה של הרכיבים השונים (n=24)

האיורים בלומדה של מהלך הניסוי עזרו לי להבין את הניסוי

הלומדה של מהלך הניסוי הייתה ברורה לי

מאמץ מנטלי להבנת הלומדה של מהלך הניסוי

האיורים במבא התיאורטי עזרו לי להתכונן לניסוי

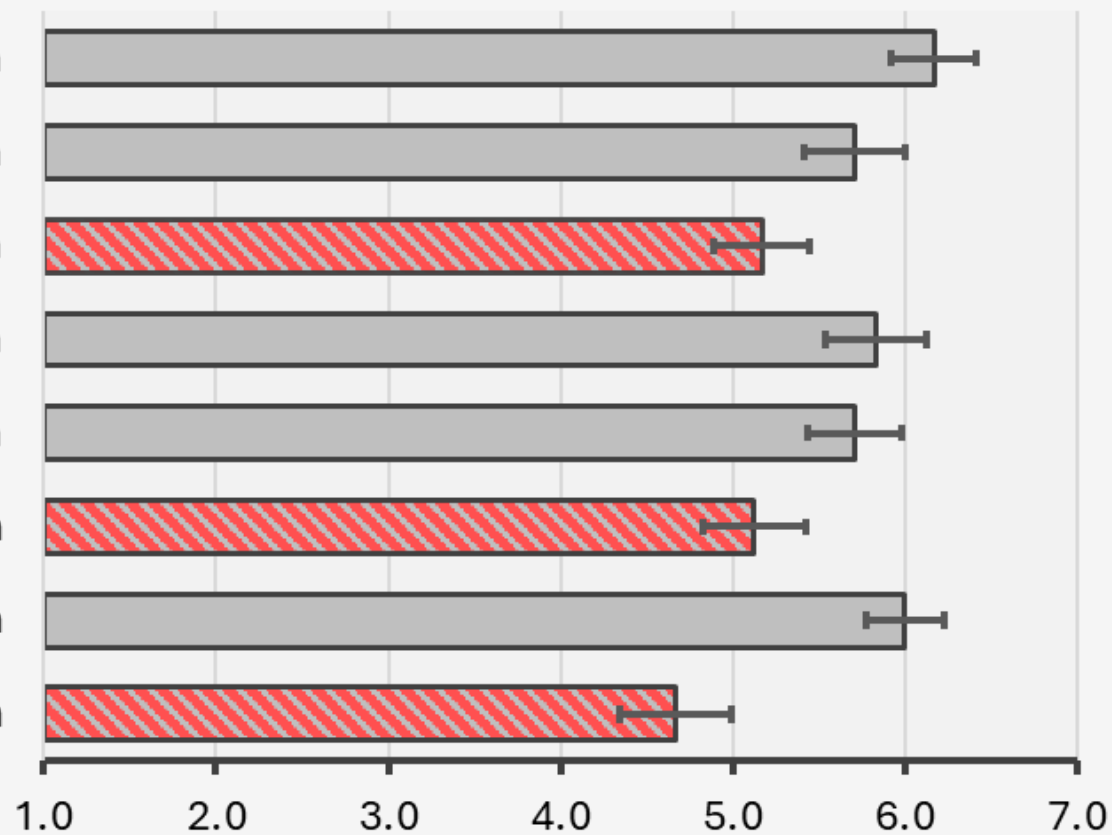
המבוא התיאורטי עזר לי להצליח להבין את הניסוי

מאמץ מנטלי בקריאת המבוא התיאורטי

הסרטונים עזרו לי להתכונן לניסוי

מאמץ מנטלי להבנת הסרטונים

■ תרומה להבנה ■ מאמץ מנטלי



רמה ממוצעת (±SEM)



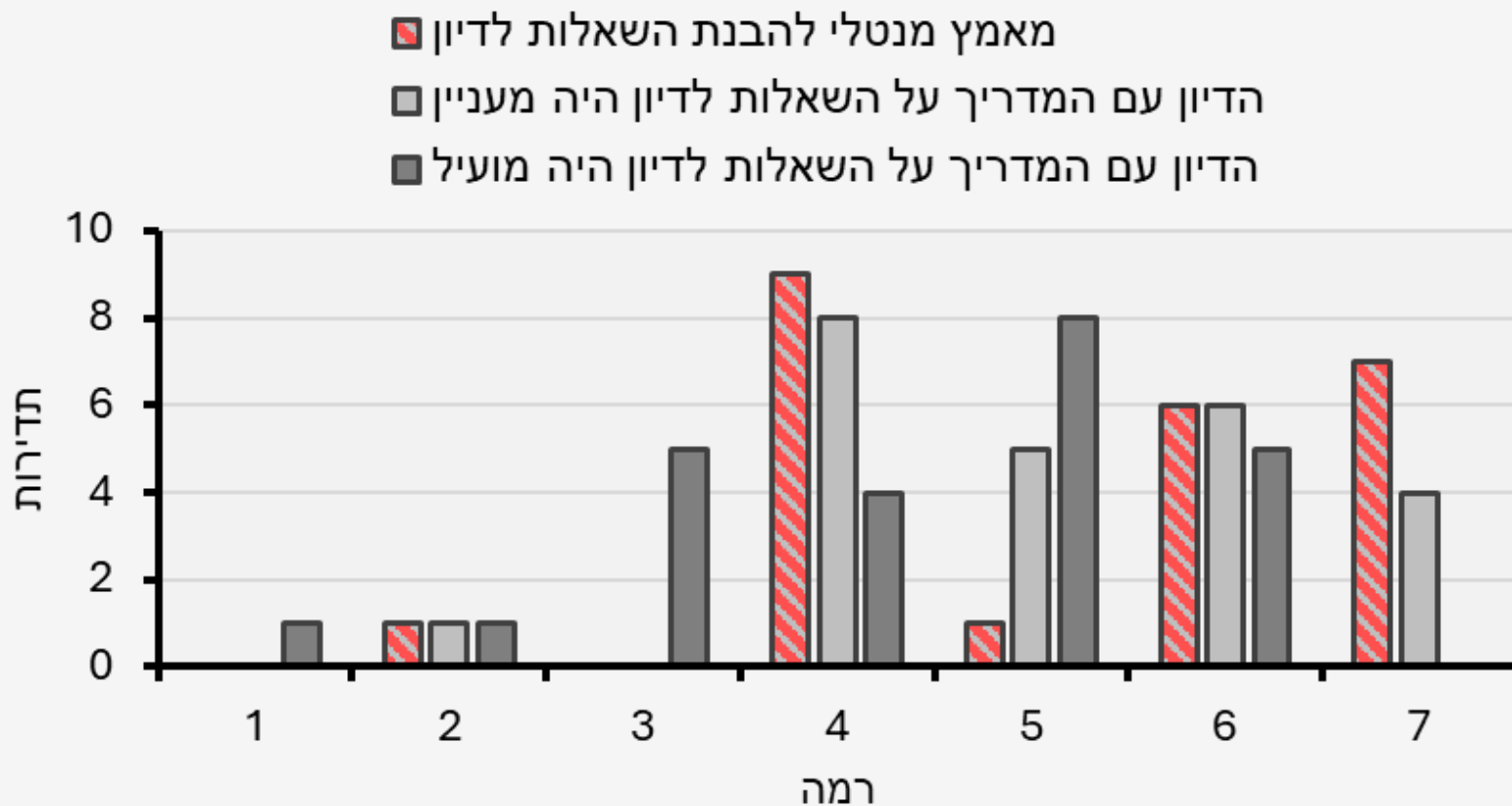
BGU





# הסטודנטים למדו והיו מרוצים מהשינוי

התפלגות תשובות סקר שביעות רצון – שאלות לדיון (n=24)





"פעם ראשונה שהסטודנטים הבינו את הניסוי הזה (ניסוי 9)"

"ההפרדה (הוויזואלית) בין מהלך הניסוי להסבר עזרה לי מאוד ללמוד"

"הסטודנטים הצליחו לקשר בין חלקי הניסוי"

"לסטודנטים היה חשוב להבין את כל שלבי הניסוי"  
(גם בניסויים שבהם עוד לא עשינו שינוי)

"סרטוני ה-JoVE מרעננים את הזיכרון לגבי נושאים שלמדנו ומרחיבים את הידע לגבי דברים שלא נלמדו בדרך קצרה ומאוד נחמדה"

## מטרות שינוי הקורס:

התאמת התוכן הלימודי לרמת הידע  
ההתחלתי

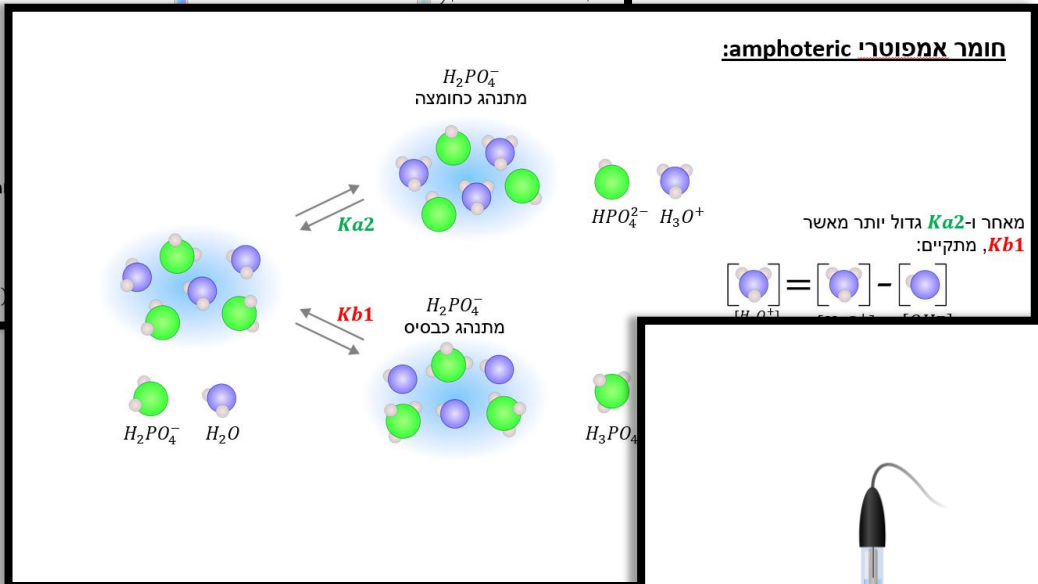
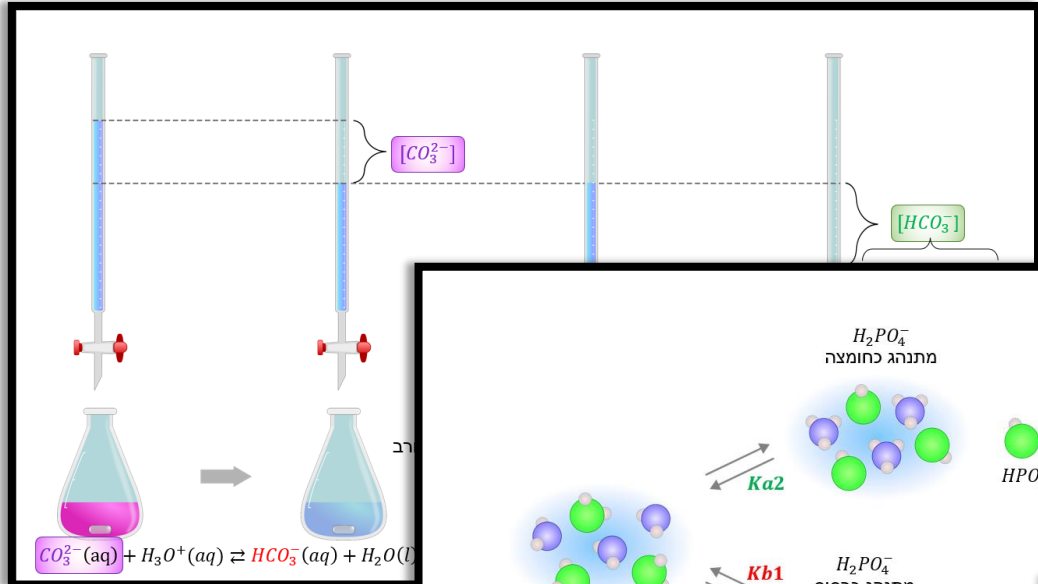
הנגשת התכנים באמצעים ויזואליים  
ומולטימדיה

חיבור חזק בין תיאוריה לפרקטיקה

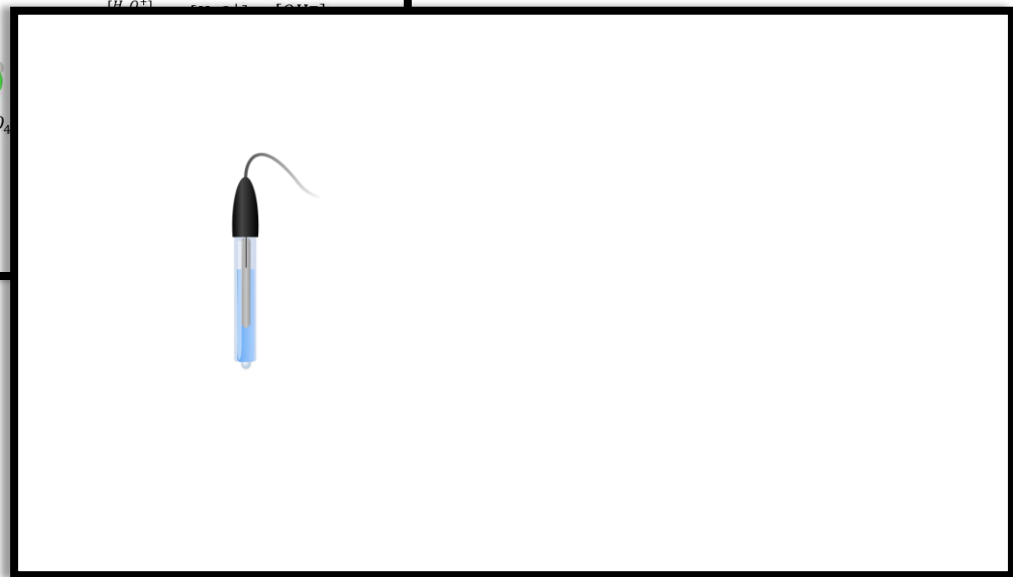
יישום מדורג של המיומנויות  
הנלמדות

עבודה עם מקורות אמינים ומהימנים



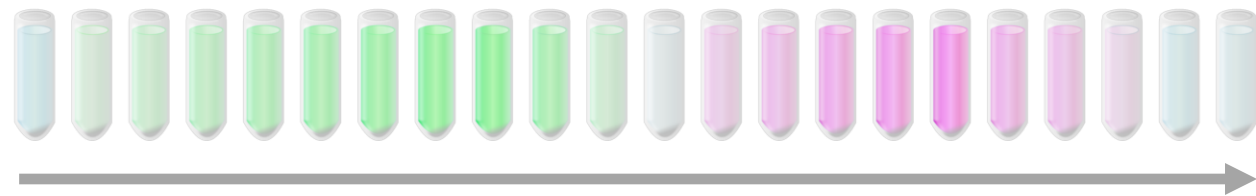
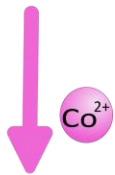
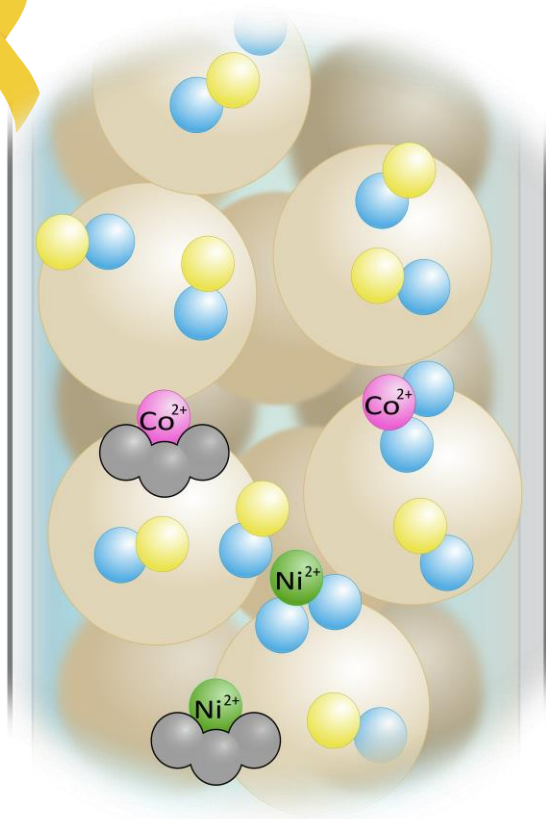


**תודה!**

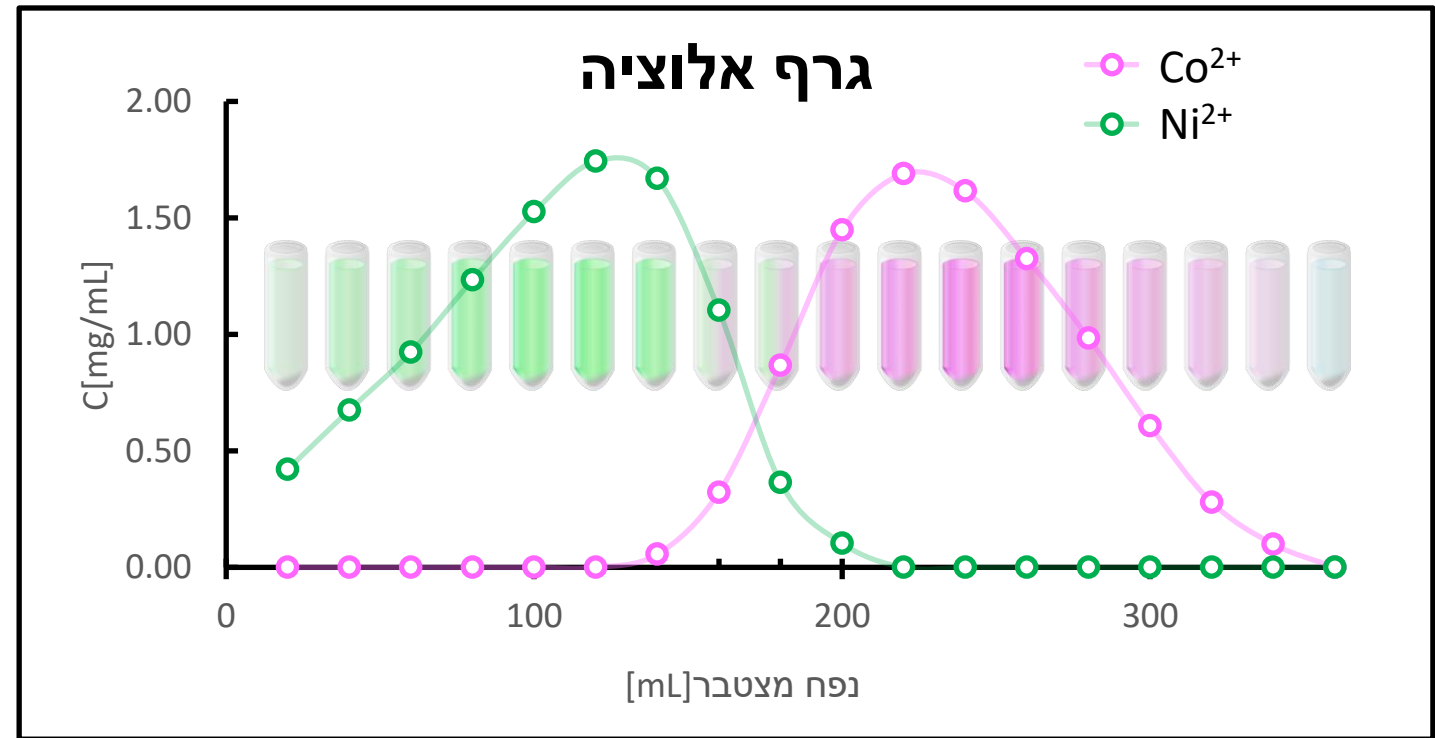


alinag@post.bgu.ac.il





time



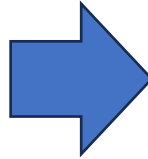
## 2. חוקי הבליעה

המשוואה היסודית של הספקטרופוטומטריה היא חוק בר-לאמבר (Beer-Lambert law).

$$I_t = I_0 10^{-\epsilon lc}; \quad \log \frac{I_0}{I_t} = \epsilon lc = A$$

כאשר עבור מולקולה מסוימת באורך גל מסוים:  
 $I_0$  היא עוצמת האור המונוכרומטי הפוגע בדוגמא באורך גל מסוים.  
 $I_t$  היא עוצמת האור היוצא מן הדוגמא באותו אורך גל.

מבוא לספקטרופוטומטריה



עמוד 6 מתוך 25

### גורמים המשפיעים על בליעת אור ע"י חומר

מה לדעתכם יקרה לעוצמת האור היוצאת מהדוגמא (האור שעובר דרך הדוגמא ומגיע לנלאי) אם נגדיל את אורך התא?

$I_0$   $I_1$

תקטן  
לא תשתנה  
תגדל  
בדיקת תשובה

הקודם הבא

עמוד 2 מתוך 25

### בליעת אור

$I_0$   $I_t$

אור מוקרן אור מועבר

$A = \log \frac{I_0}{I_t}$

absorbance = בליעה

הקודם הבא

עמוד 5 מתוך 8

$\epsilon$  מקדם הבליעה של החומר הנמדד באורך הגל המדובר. אם מבטאים את  $c$  ביחידות של מולריות ו-  $l$  בס"מ, אז  $\epsilon$  נקרא מקדם בליעה מולרי (molar extinction coefficient).

$l$  הוא הדרך האופטית ז"א עובי החומר דרכו עוברת קרן האור.  
 $c$  הוא הריכוז המולרי של הדוגמא.

$A$  נקראת הבליעה (absorbance) או הצפיפות האופטית. היא נמצאת ביחס ישר לריכוז הדוגמא ולעובי שלה.

המנה  $T = \frac{I_t}{I_0}$  נקראת העברה (transmittance). היא מבטאת את החלק של כמות האור שעבר

דרך הדוגמא ולא נבלע בה. בד"כ נוהגים לציין את אחוז ההעברה (ז"א  $\frac{I_t}{I_0} \times 100$ ). אם נבטא

את  $T$  באחוזים נקבל את הקשר הבא:

$$A = \log \left( \frac{I_0}{I_t} \right) = \epsilon lc = 2 - \log T$$

עמוד 20 מתוך 25

### רגישות - יכולת להבדיל בין ריכוזים שונים

$A = \epsilon Cl$

$\epsilon_1$   $\epsilon_2$   $\epsilon_3$

$A$   $C$  ריכוז

הקודם הבא

עמוד 12 מתוך 25

### תלות הבליעה בריכוז היא ליניארית

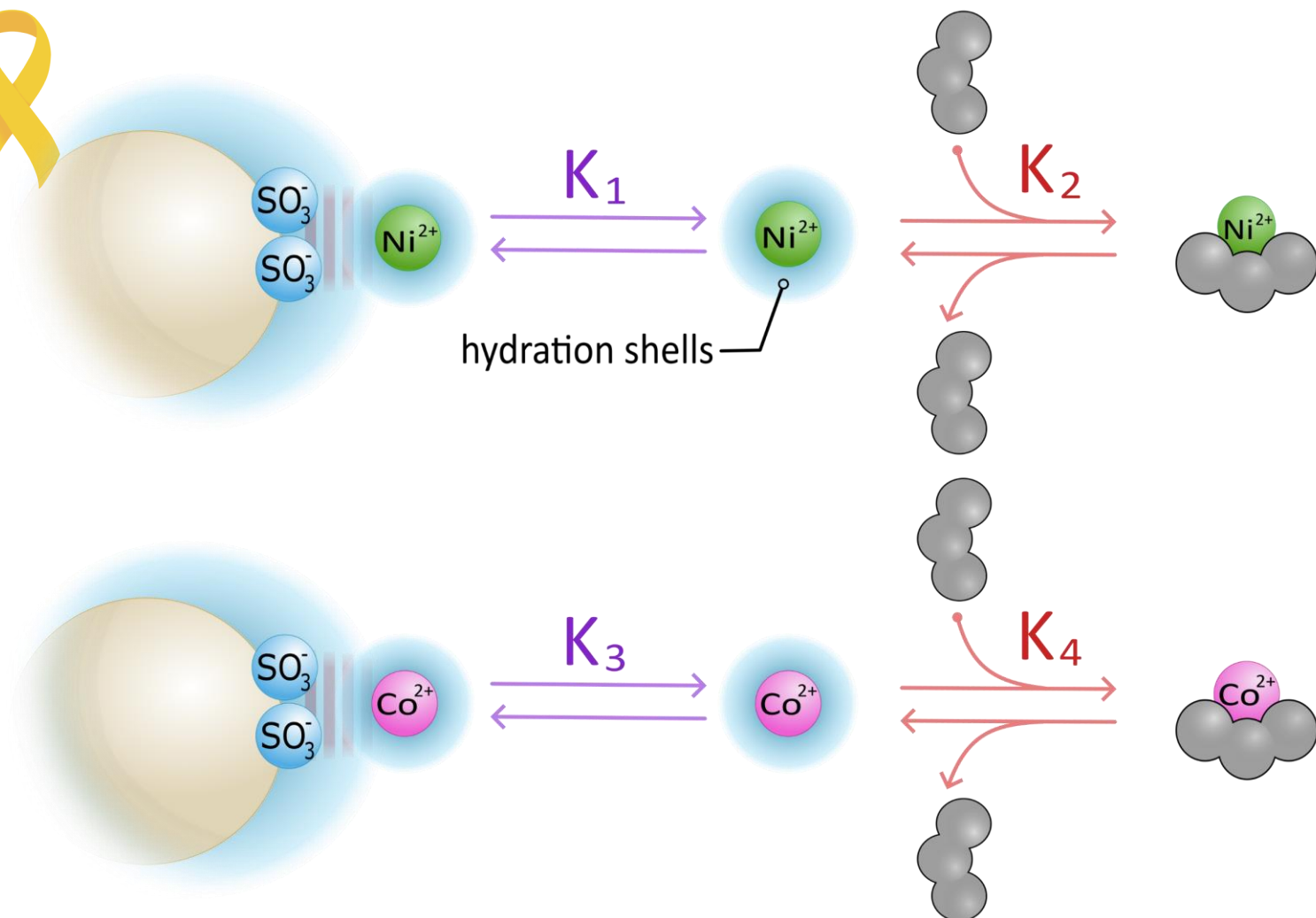
$A = \epsilon Cl$

$A$   $C$  ריכוז

הקודם הבא













עם מעבר הפאזה הניידת לאורך העמודה,  $Ni^{2+}$  ו  $Co^{2+}$  נספחים ומשתחררים לסירוגין. בנוסף, נוצר ומתפרק הקומפלקס היוני בין הקטיונים לציטרט.

באופן זה, פועלים ההבדלים הקטנים בקבועי שיווי המשקל של כלל התגובות פעמים רבות, מה שמגדיל את ההבדל בקצב התנועה של שני הקטיונים לאורך העמודה.

קבועי המשקל  $K_1$  ו  $K_3$  דומים מאוד, לכן

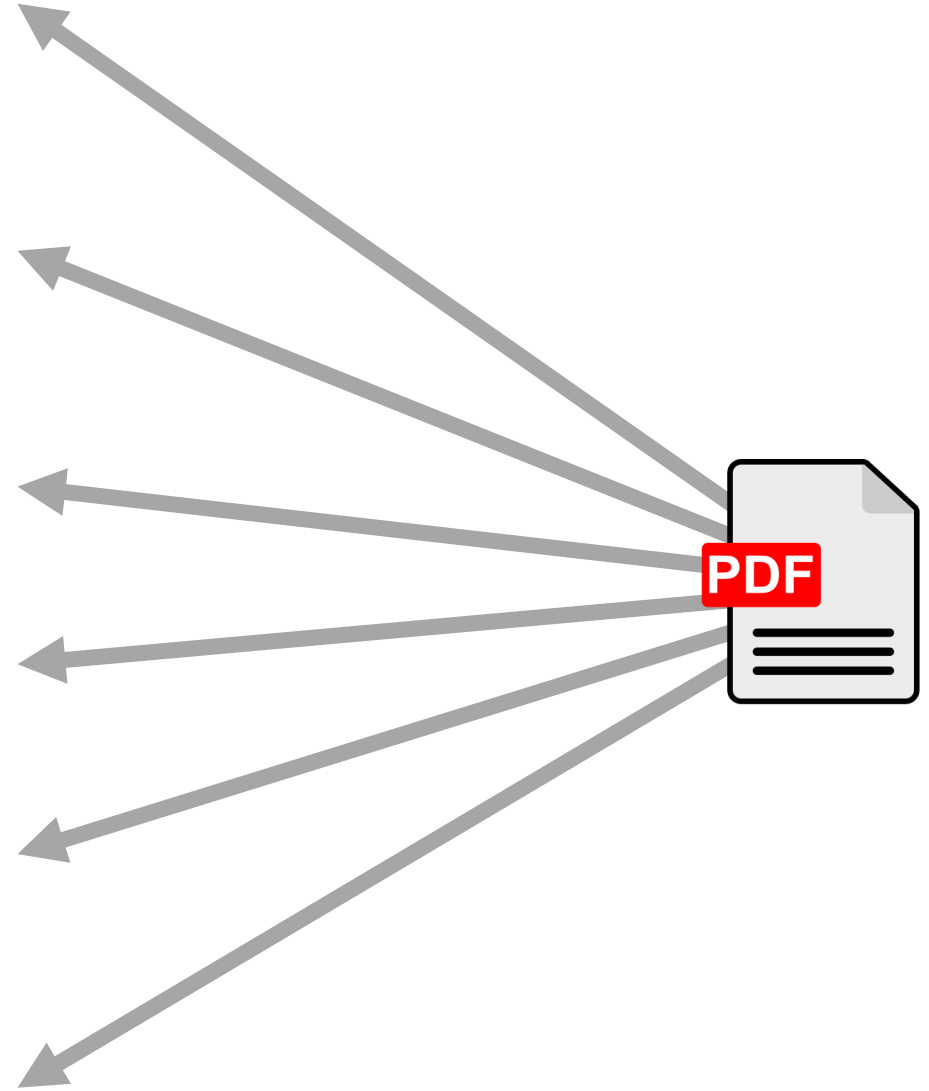
בעיקר ההבדל בין  $K_2$  ו  $K_4$  משפיעים על טיב

ההפרדה בין  $Ni^{2+}$  ו  $Co^{2+}$ .






-   $SO_3^-$
-  citrate
-  nickel ion with hydration shells
-  nickel-citrate complex
-  cobalt ion with hydration shells
-  cobalt-citrate complex



מטרה	תוכן	רכיב לימודי
הנגשת הרקע התיאורטי שהדרש לניסוי	 <p>הסבר מילולי בשילוב איורים וסרטוני JoVE</p>	 <p>מבוא</p>
הסברים מדוקדקים של כל שלב מדגישים לסטודנטים מהי הרמה של הבנת הניסוי הנדרשת מהם עבור ביצוע המעבדה	 <p>הסבר מילולי בשילוב איורים על כל שלב בניסוי</p>	 <p>מהלך ניסוי</p>
הדגמה של חלקים יחסית קשים בניסוי כדי להקנות הרגשת מוכרות עם הניסוי	 <p>הדגמת חלק מהניסוי עם הסברים</p>	 <p>סרטון על מהלך הניסוי</p>
להסביר לסטודנטים על עיבוד תוצאות הניסוי ולהמחיש להם את הרמה הנדרשת מהם לדעת על תוצאות הניסוי	 <p>הסבר מילולי והדגמה של עיבוד התוצאות</p>	 <p>הסבר על עיבוד תוצאות (אם יש צורך)</p>
להמחיש לסטודנטים את רמת הידע הנדרשת לבוחן	 <p>שאלות הכנה לבוחן</p>	 <p>לומדה אינטראקטיבית להכנה לבוחן</p>
יצירת דיון בין הסטודנטים למדריכים, ליצור עניין וסקרנות אצל הסטודנטים ולהמחיש לסטודנטים את מורכבות הכימיה של הניסוי	  <p>שאלות מורכבות עם הנחיות לסרטוני JoVE או מאמרים</p>	 <p>שאלות לדיון</p>





כלים	המשימה המוצגת לסטודנטים	מיומנות	ניסוי
	הנחייה מפורטת עם הסברים והדגמה על חיפוש נתונים וכתובה במחברת. לבסוף הסטודנטים מתנסים בחיפוש נתונים שהם צריכים לניסוי זה	היכרות עם כלי המעבדה, כתיבה מסודרת במחברת מעבדה וחיפוש נתונים ספרותיים באתר SciFinder	איך להגיע מוכנים לניסוי
	לומדה אינטראקטיבית עם הסברים, דוגמאות חישוב ותרגול. בדו"ח המעבדה הסטודנטים נדרשים להדגים את הידע שרכשו	הבנת חשיבות ומשמעות של ספרות משמעותיות	איך לנתח תוצאת אמפיריות מהניסוי
	לומדה אינטראקטיבית עם הסברים, בסוף הלומדה הסטודנטים עונים על שאלה שרלוונטית לניסוי בעזרת מאמר מדעי	היכרות עם מבנה מאמר מדעי ופרקו במאמר	איך להרחיב ידע תיאורטי
	הנחייה למאמרים וסרטוני JoVE עם הוראות מפורטות כך שהסטודנטים יוכלו לענות על השאלות בעזרת הידע הקודם שיש להם.	לענות על שאלות מורכבות ע"פ מקורות ידע חיצוניים מהימנים בשילוב ידע קודם.	איך לחבר את תוצאות הניסוי לידע ספרותי
	הפנייה למיומנויות השונות שהסטודנטים רוכשים במהלך הסמסטר כדי להבין את הרקע המדעי של הניסוי ומהלך הניסוי.	שימוש בכל המיומנויות שנלמדו בניסויים הקודמים כדי לפצח עצמאית ניסוי.	איך לשלב את כל המיומנויות הנפרדות שנרכשו במהלך המעבדה
			מחליף יונים
			קביעת מכפלת מסיסות וטיטרציות שיקוע
			איך להגיש מוכנים לניסוי
			קומפלקסים
			אפיון חומצה אורגנית

רמת קושי הולכת ועולה

