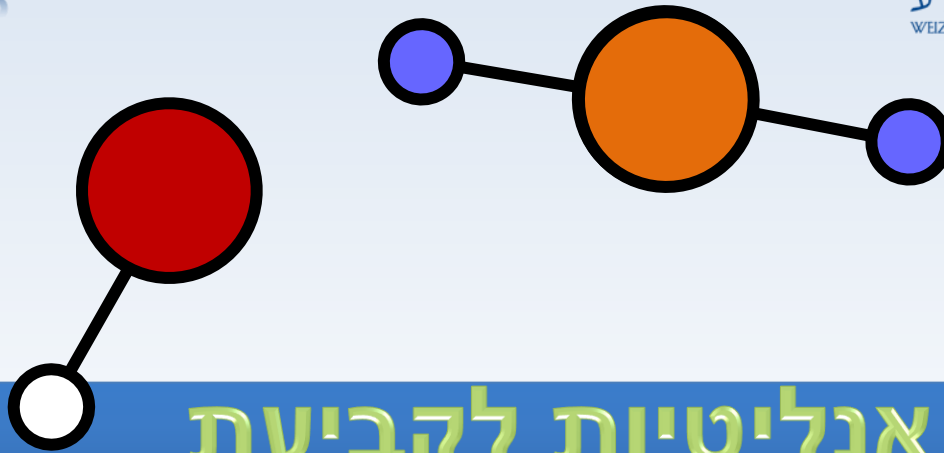
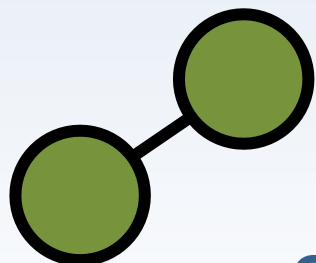


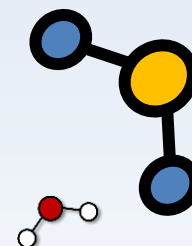


שיטות אנליטיות לקביעת ריכוז מומסים במים





מהם מיומנויות העבודה במעבדה?



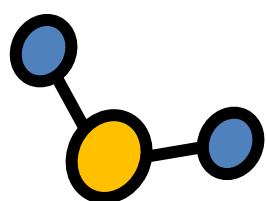
תזכורת: מהי טיטרציה כשיטת מדידה?



קשיות מים: מהם? מהי דרגת קשיות המים?



קביעת ריכוז כלורידים בשיטה הוולומטרית



מה אנחנו צריכים כבר לדעת?

מבנה מולקולת המים 

סוג קישור תוך ובינמולקולרי, אלקטרושליליות.

תהליכי המסה במים: חומרים קלי וקשי תמס, תגובות

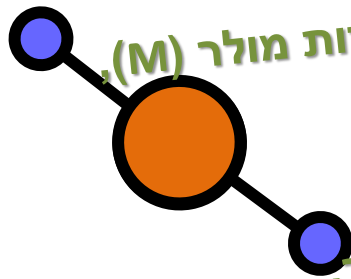
שיקוע

סטויכיומטריה: חישובי ריכוזים, יחידות מולר (M), 

יחידות ריכוז mg/L , יחידות ריכוז ppm .

שיטות אנליטיות: טיטרציה, אינדיקטור, 

גרפים: שרטוט, קנה מידה, משתנה תלוי ובלתי תלוי 



איסוף דגימות המים נקרא דיגום.

במקרים שבהם הגודל הנמדד עלול להשתנות עד שהדגימה תגיע למעבדה, יש לבצע את הבדיקה בשטח, מיד לאחר הדיגום. דוגמאות לכך הן בדיקת הטמפרטורה של המים ובדיקת כמות החמצן שהתמוססה במים. בבדיקות כאלה משתמשים בערכות ניידות שפותחו במיוחד לביצוע מדידות בשטח.

דגימות שנלקחות למעבדה צריכות להישמר בתנאים שימנעו שינויים בהרכב הדגימה. לכן הדגימות נשמרות בקירור, ולחלק מהן מוסיפים חומצה המונעת שיקוע של יונים מסוימים שאת ריכוזיהם רוצים לבדוק.

טיטרציה וולומטרית עם EDTA לקביעת קשיות המים



Close-up picture of hard water deposits in copper water pipes.

מים קשים מכילים ריכוזים גבוהים של יוני מגנזיום וסידן ובשל כך יכולים לשקע סבון (לתהליך זה קוראים "סיבון").

הביטוי לקשיות המים: מסת $\text{CaCO}_3(s)$ ביחידות ppm.

דוגמא: בנפח 1 ליטר, יכולים להיווצר 10 מ"ג סידן פחמתי ולכן דרגת הקשיות הינה: 10 ppm.

ריכוז יוני הסידן רב בהרבה מריכוז יוני המגנזיום ולכן המדד נקבע על פיו. יונים אלה נחשבים למזהם למרות שאין בהם סיכון בריאותי בשל השלכות קיומם במים.

קיומם של יונים אלה במים, גורם להיווצרות אבנית – הגורר בזבז אנרגיה רב, בזבז דטרגנטים- המקטין את יעלות חומרי הניקוי ולבלאי מוגבר.

CaCO _{3(s)} mg/liter (ppm)	דרגת קשיות
קטן מ 75	רכים
75-150	קשים מעט
150-300	קשים
גדול מ 300	קשים מאד

מים קשים הם מים המכילים אחוז משקלי גבוה של יוני סידן Ca^{2+} ויוני מגנזיום Mg^{2+} המומסים בהם.

מים קשים הם מים המכילים אחוז משקלי גבוה של יוני סידן

Ca^{2+} ויוני מגנזיום Mg^{2+} המומסים בהם.

יונים אלה, יגיבו עם סבון ליצירת מוצק לא מסיס (משקע).

למשקע זה, אנחנו קוראים "אבנית" והוא מהווה בעייה

אקולוגית חמורה בשל העובדה שהאבנית סותמת צינורות

מים וגורמת לקלקול ציוד.

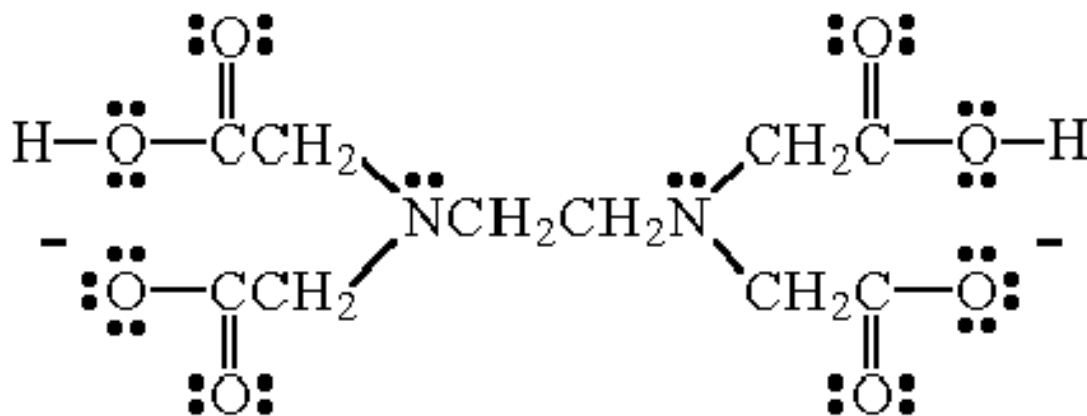
מים קשים הם מים המכילים אחוז משקלי גבוה של יוני סידן Ca^{2+} ויוני מגנזיום Mg^{2+} המומסים בהם.

יונים אלה, יגיבו עם סבון ליצירת מוצק לא מסיס (משקע).
למשקע זה, אנחנו קוראים "אבנית" והוא מהווה בעייה
אקולוגית חמורה בשל העובדה שהאבנית סותמת צינורות
מים וגורמת לקלקול ציוד.

**בבית (בקומקום למשל) ניתן להיפטר מאבנית על ידי ניקוי
עם חומצות כגון חומצה אצטית (חומץ) או חומרים הנמכרים
בסופר והפועלים כנגד אבנית**

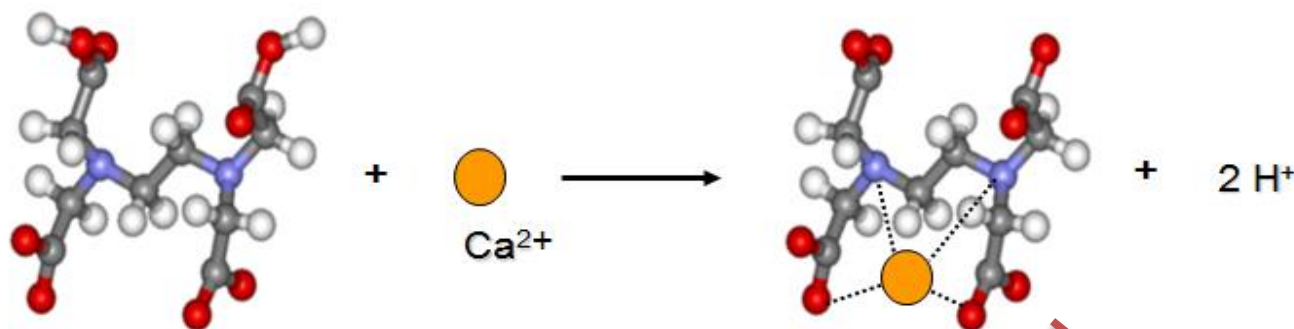
ניתן לסלק את היונים האחרניים לקשיות המים
 (Ca^{2+} Mg^{2+} וגם: Fe^{3+} ו- Pb^{2+}) על ידי תגובה עם EDTA
 (EthyleneDiamineTetraacetic Acid)

ל-EDTA יש זיקה גדולה יותר ליוני סידן ויוני מגנזיום כאשר הוא
 בצורה הטעונה שלו $\text{H}_2\text{EDTA}^{2-}$. צורה זו מתקבלת ב- $\text{pH}=10$.



dihydrogen ethylenediaminetetraacetate ion

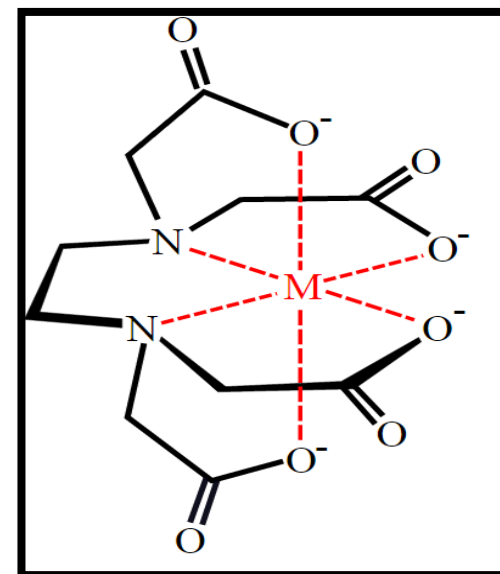
ה-EDTA קושר יוני Ca^{2+} על ידי יצירת קשר סמיפולרי (זוגות לא קושרים של אטומי החמצן וחדקן, פועלים כזוגות קושרים ליון חסר האלקטרונים וכך קושרים אותו באמצעות קשרים קוולנטיים למולקולה).



$\text{H}_2\text{EDTA}^{2-}$

Ca^{2+}

יון ה- Ca^{2+}
לאחר שעבר קלאציה
ל-EDTA (הצמדה)

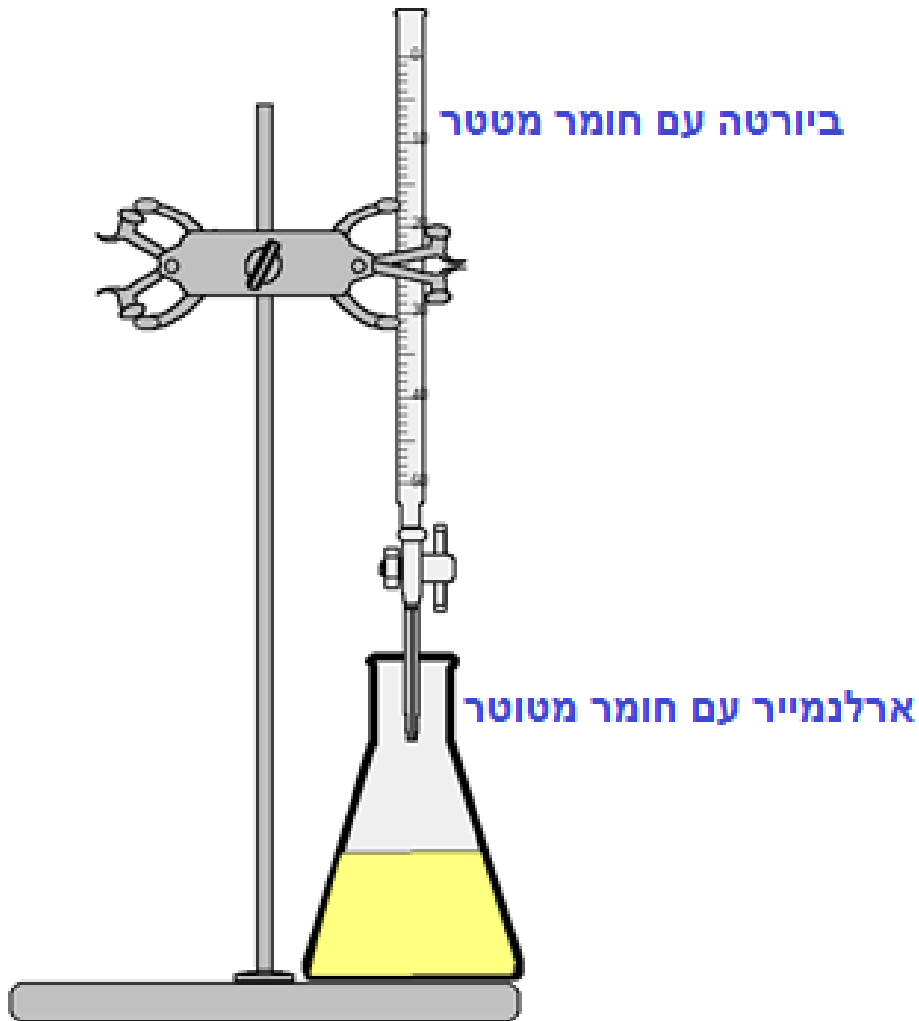


טיטרציה היא שיטה
אנליטית לקביעת ריכוז
(בלתי ידוע) של חומר

חומר מטטר- ידוע
במהותו, נפחו וריכוזו

חומר מטוטטר- ידוע
במהותו ונפחו. ריכוזו
אינו ידוע.

מתוך ידיעת התגובה,
ניתן לחשב את הריכוז
הנעלם.

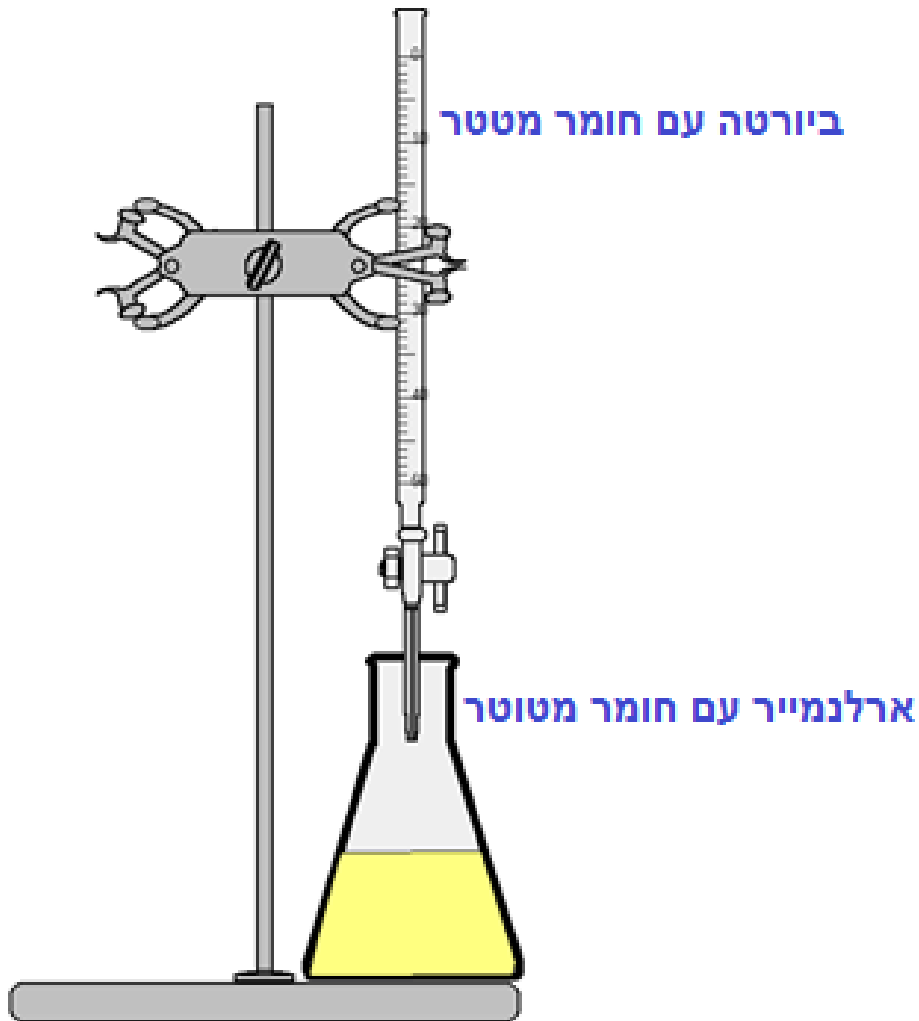


טיטרציה באמצעות EDTA

ניתן לקבוע את הריכוז הכולל של יוני הסידן ויוני המגנזיום (הגורמים לקשיות המים) בדגימת מים תוך שימוש ב-EDTA בסביבה בסיסית

באמצעות פיפטה וולמטרית (נפח = volume) ניקח במדויק נפח ידוע (25 מ"ל) מדגימת המים. את הנוזל מעבירים לתוך ארלנמייר

ממלאים את הביורטה בתמיסת ה-EDTA



קביעת קשיות המים באמצעות EDTA

ניקח 25 מ"ל של תמיסת יוני סידן
בריכוז ידוע. נוסיף תמיסת בסיס
לשמירה על סביבה בסיסית ההכרחית
לביצוע הטיטרציה. נוסיף 3 טיפות של
האינדיקטור אריוכרום בלק *T*.
האינדיקטור נקשר בתחילת התגובה
ליוני הסידן. צבע התמיסה אדום-סגול.



הצבע
ההתחלתי

קביעת קשיות המים באמצעות EDTA

נטטר את תמיסת יוני הסידן עם תמיסת EDTA מהביורטה עד לשינוי צבע התמיסה. יוני הסידן משתחררים מהאינדיקטור ונקשרים ל-EDTA, ונוצר תצמיד. צבע התמיסה משתנה מאדום לכחול. זוהי נקודת הסיום של הטיטרציה.

הצבע
ההתחלתי



קרוב לנקודת
הסוף

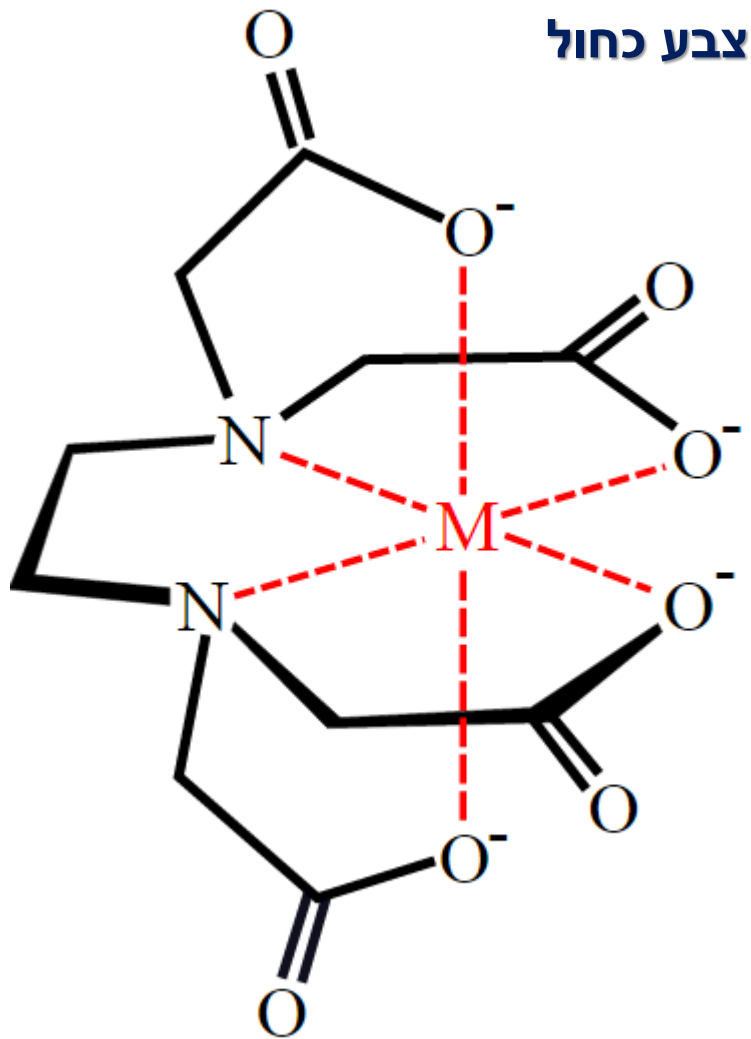


נקודת הסוף



האינדיקטור בטיטרציה עם EDTA

תצמיד ה-EDTA אחרי התגובה:

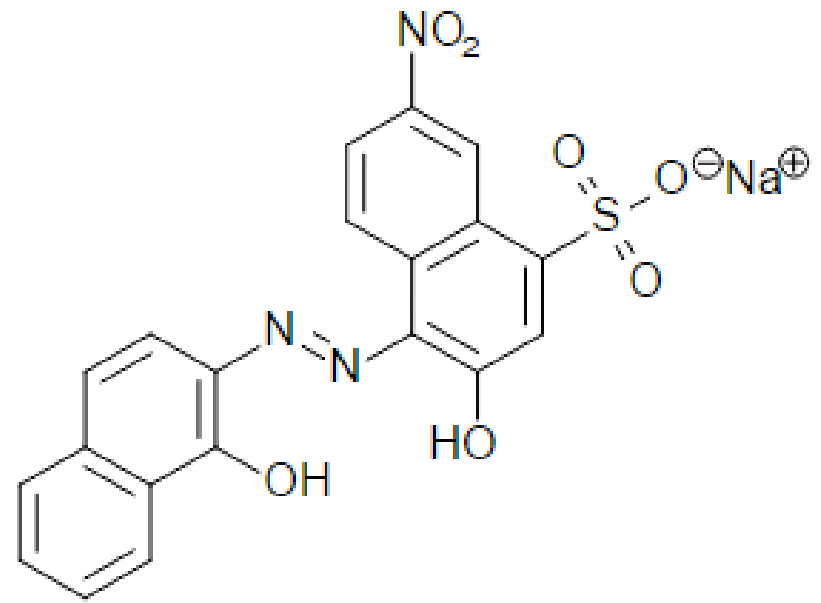


האינדיקטור **אריוכרום בלק Z**.

אינדיקטור קומפלקסומטרי לטיטרציות

קומפלקסומטריות (בעברית: קומפלקס = תצמיד)

M = אטום מתכתי (במקרה שלנו: סידן או מגנזיום)



מבנה האינדיקטור לפני התגובה: צבע ורוד

נקודת סוף, נקודת שוויון (אקווילנטית)

נקודת סוף היא הנקודה בה הצופה מבחין בשינוי בתגובה (בדרך כלל שינוי צבעו של אינדיקטור). שינוי זה מעיד על סיום התגובה. נקודה זו מתייחסת גם לנקודת השוויון אך אינה זהה לה.

נקודת שקילות (= נקודת שוויון, נקודה אקווילנטית), או **נקודה סטויכיומטרית של תגובה כימית** היא כאשר מספר מולי החומר המטטר שווה מבחינה סטויכיומטרית למספר המולים של מגיב כלשהו שאת ריכוזו בודקים (הנקרא אנליט). זהו מספר המולים הקטן ביותר שמגיב או סותר את התגובה במלואה. נקודת השוויון מדויקת יותר מנקודת הסוף אשר מושפעת מגורמי אנוש ומגבלות הצופה.

סדר הפעולות בטיטרציה עם EDTA

קביעה של תמיסה בעלת ריכוז ידוע (בלאנק)

א. קביעת נפח EDTA הדרוש לתגובה עם 1 מ"ג CaCO_3 ע"י שימוש

בתמיסה בעלת ריכוז ידוע - קביעת מקדם המרה

קביעה של תמיסה בעלת ריכוז לא ידוע

ב. קביעת נפח EDTA הדרוש לתגובה מלאה עם דוגמת המים לבדיקת קשיות

ג. חישוב הקשיות בדוגמת המים על ידי שימוש במקדם ההמרה (חושב ב-א')

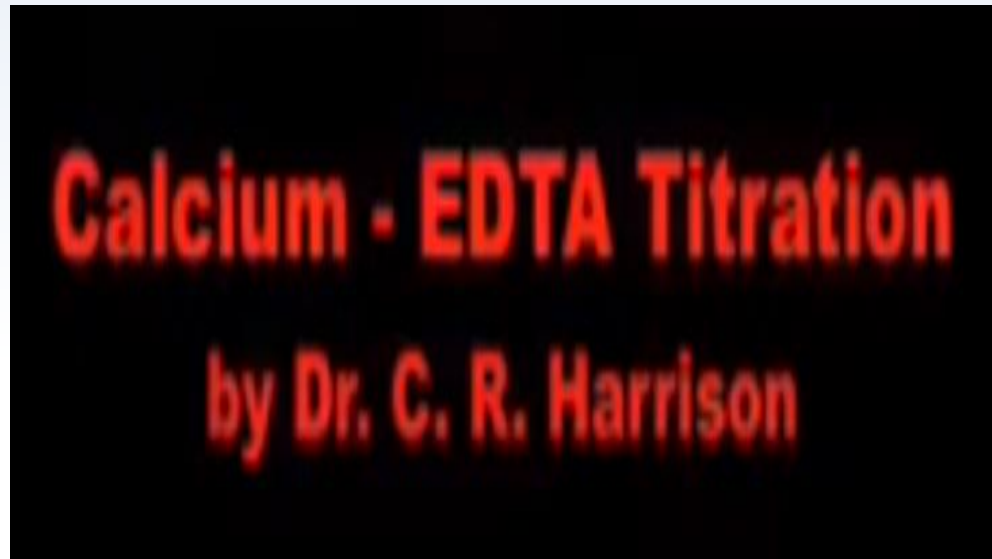


תמיסה בצבע אדום-יין

תצמיד מסיס

תמיסה
כחולה

נצפה בסרטון



טיטרציה באמצעות EDTA:

<https://www.youtube.com/watch?v=hTy9JBIIUVg>

$$(1) \quad \text{מולי } \text{CaCO}_3 \text{ בדוגמה} = L_{\text{EDTA}} \times \frac{M_{\text{EDTA}}}{1 \text{ mol EDTA}} \times \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol EDTA}}$$

$$(2) \quad M_{\text{CaCO}_3} = \frac{\text{מולי } \text{CaCO}_3}{50 \times 10^{-3} \text{ L דוגמה}}$$

$$(3) \quad \text{mg/L CaCO}_3 = M_{\text{CaCO}_3} \times \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

$$(4) \quad \text{ppm} = \text{mg/L}$$

א. חשבו את נפח תמיסת ה- EDTA הדרוש לטיטרציה של תמיסה סטנדרטית שבה 1 מ"ג של סידן פחמתי.

נרכז את כל הנתונים בטבלה מתאימה:

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4		25	
8.3		25	דגימה נבדקת

א. חשבו את נפח תמיסת ה-EDTA הדרוש לטיטרציה של תמיסה סטנדרטית שבה 1 מ"ג של סידן פחמתי.

נחשב את כמות הסידן הפחמתי ב- 25 מ"ל של תמיסה סטנדרטית:

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	?	25	
8.3		25	דגימה נבדקת

א. חשבו את נפח תמיסת ה-EDTA הדרוש לטיטרציה של תמיסה סטנדרטית שבה 1 מ"ג של סידן פחמתי.

נחשב את כמות הסידן הפחמתי ב- 25 מ"ל של תמיסה סטנדרטית:

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
8.3		25	דגימה נבדקת

א. חשבו את נפח תמיסת ה- EDTA הדרוש לטיטרציה של תמיסה סטנדרטית שבה 1 מ"ג של סידן פחמתי.

נחשב נפח EDTA הנדרשים לטיטרציה מלאה של 1 מ"ג סידן פחמתי:

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
?	1		
8.3		25	דגימה נבדקת

א. חשבו את נפח תמיסת ה- EDTA הדרוש לטיטרציה של תמיסה סטנדרטית שבה 1 מ"ג של סידן פחמתי.

נחשב נפח EDTA הנדרשים לטיטרציה מלאה של 1 מ"ג סידן פחמתי:

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
1.136	1		
8.3		25	דגימה נבדקת

נפח תמיסת ה- EDTA הדרוש לטיטור 1 מ"ל של התמיסה הסטנדרטית הוא 1.136 מ"ל

ב. חשבו את קשיות מי הברז

קשיות המים מוגדרת בתור mg CaCO_3 של סידן פחמתי, כלומר יש לחשב כמה מ"ג של סידן פחמתי אפשר לקבל מליטר אחד (1000 מ"ל) של הדגימה

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
1.136	1		
8.3		25	דגימה נבדקת
	?	1000	

ב. חשבו את קשיות מי הברז

קשיות המים מוגדרת בתור mg CaCO_3 של סידן פחמתי, כלומר יש לחשב כמה מ"ג של סידן פחמתי אפשר לקבל מליטר אחד (1000 מ"ל) של הדגימה

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
1.136	1		
8.3	?	25	דגימה נבדקת
	?	1000	

ב. חשבו את קשיות מי הברז

בשלב הראשון נחשב כמה מ"ג סידן פחמתי טוטרו על יד נפח ה-EDTA שהשתמשו בו בטיטרציה

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
1.136	1		
8.3	7.306	25	דגימה נבדקת
	?	1000	

ב. חשבו את קשיות מי הברז

בשלב השני נחשב את מסת הסידן הפחמתי המתקבלת מליטר של דגימה

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
1.136	1		
8.3	7.306	25	דגימה נבדקת
	?	1000	

ב. חשבו את קשיות מי הברז

בשלב השני נחשב את מסת הסידן הפחמתי המתקבלת מליטר של דגימה

נפח תמיסת EDTA שנדרש לטיטרציה (מ"ל)	מסת CaCO_3 שאפשר לקבל מהתמיסה (מ"ג)	נפח (מ"ל)	
	1000	1000	תמיסה סטנדרטית
28.4	25	25	
1.136	1		
8.3	7.306	25	דגימה נבדקת
	365.32	1000	

מליטר דגימת מים אפשר לקבל 365.32 מ"ג של סידן פחמתי.
קשיות מי הדגימה היא 365.32 מ"ג/ליטר או 365.32 ppm

שאלה 1:

הריכוז המולרי של יוני הסידן בדגימת מים היא 0.010M .

מהי קשיות מים אלו?

א. 400 ppm

ב. 600 ppm

ג. 800 ppm

ד. 1000 ppm

פתרון לשאלה 1:

הריכוז המולרי של יוני הסידן בדגימת מים היא 0.010M.

מהי קשיות מים אלו?

1) $\text{mol/L} \rightarrow \text{g/1000 g}$ של תמיסה

$$0.010 \text{ mol/L} \times 40.08 \text{ g/mol} = 0.4008 \text{ g/L}$$

$$0.4008 \text{ g/L} = 0.4008 \text{ g} / 1000 \text{ g של תמיסה}$$

א. 400 ppm

ב. 600 ppm

ג. 800 ppm

ד. 1000 ppm

2) ppm

$$0.4008 \text{ g} / 1000 \text{ g} \times 1000/1000 = 400 \text{ g} / 1,000,000 \text{ g של תמיסה}$$

התשובה היא: 400 ppm

שאלה 2:

כדי לקבוע את קשיות של דגימת מים ביצעו טיטרציה אחת עם EDTA. קשיות המים שנקבעה בטיטרציה הוא 134ppm.

תוצאה זו:

א. מדויקת

ב. מהימנה

ג. לא ניתן לקבוע

פתרון לשאלה 2:

כדי לקבוע את קשיות של דגימת מים ביצעו טיטרציה אחת עם EDTA. קשיות המים שנקבעה בטיטרציה הוא 134ppm.

מהימנות של תוצאות יכולה להיקבע רק כשיש לנו

כמה תוצאות ולא תוצאה אחת בלבד.

בהשוואת התוצאות זו לזו, אפשר לקבוע אם הן

קרובות זו לזו- (מהימנות גבוהה). כאשר כל

התוצאות קרובות ורק אחת חריגה ושונה, אפשר

להסיק ששגיאה גדולה כלשהי גרמה לסטיית

המדידה, והתוצאה החריגה לא תיכלל בממוצע

התוצאות. בביצוע מדידה אחת אין לדעת אם הייתה

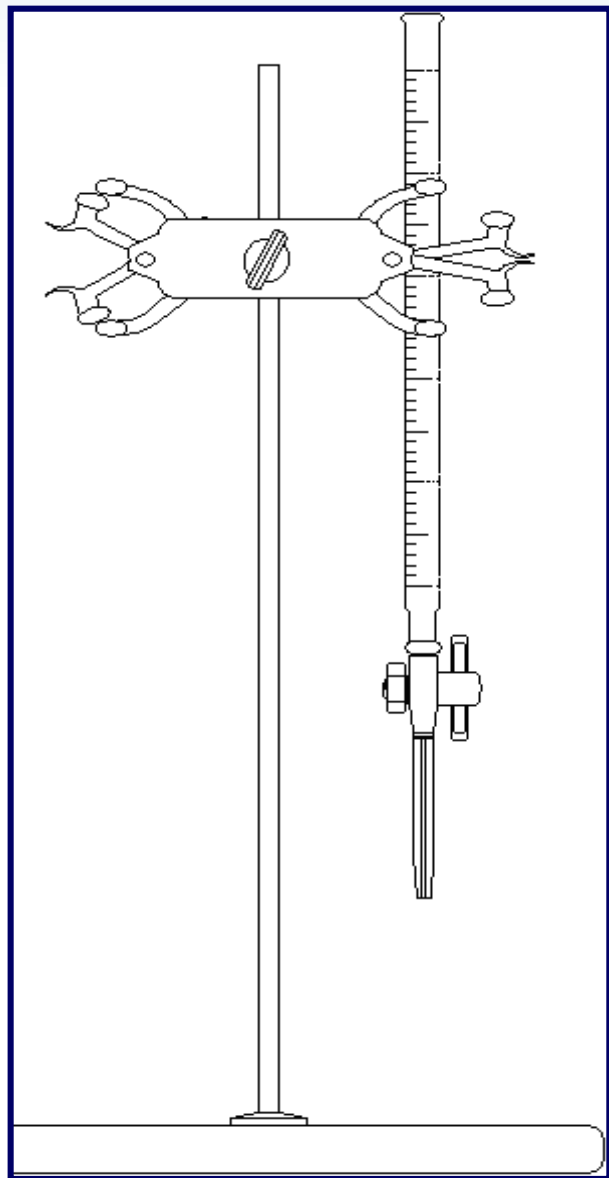
שגיאה שגרמה לסטייה גדולה בתוצאה המתקבלת.

תוצאה זו:

א. מדויקת

ב. מהימנה

ג. לא ניתן לקבוע

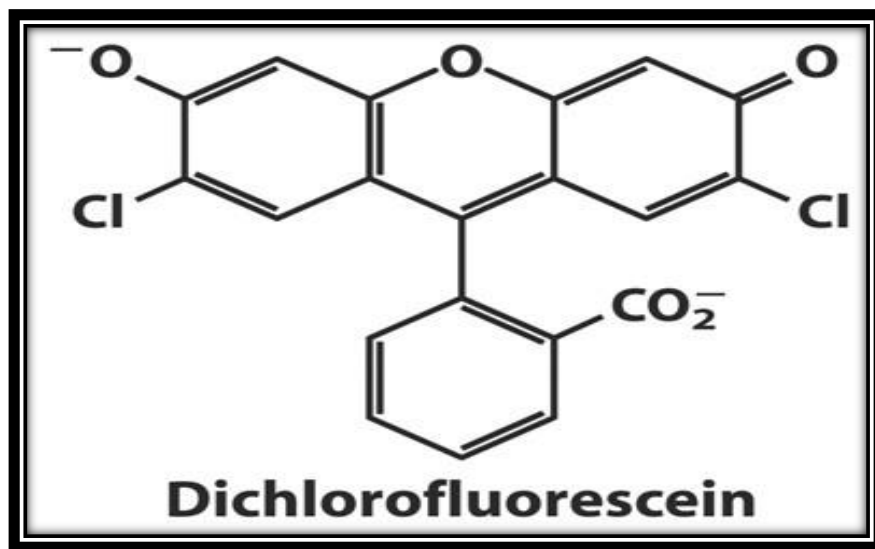


**קביעה
וולומטרית של
יוני כלור במים
שיטת Fajans**

שיטת Fajans: קביעת ריכוז יוני כלור במים

שיטת פאג'אנס (Fajans), מבוססת על שיקוע כמותי של יוני כלוריד Cl^- באמצעות כסף חנקתי (AgNO_3).

כדי לראות את נקודת הסיום של הטיטרציה מוסיפים אינדיקטור

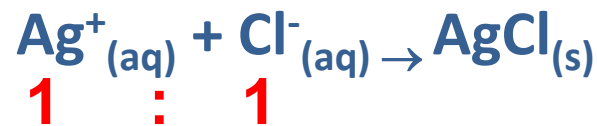


דו כלור פלאורסצאין.

בתחילה צבע האינדיקטור צהוב-ירקרק. לאחר שכל יוני הכסף הגיבו עם יוני הכלור בתמיסה (נקודת הסוף) יוני הכסף הנוספים (העודף!) מגיבים עם האינדיקטור ומתקבל תוצר שצבעו ורדרד

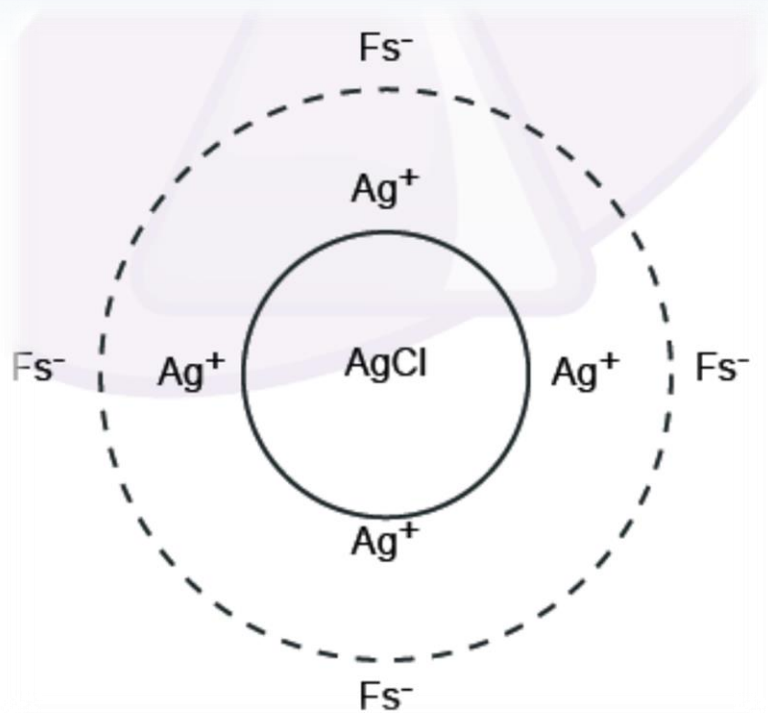
בניסוי זה נעשה שימוש בשיטת זיהוי וולומטרית - Volumetric
המבוססת על מדידת נפחים נפח = Volume

נפח ידוע של מי שתייה המכיל יוני כלור, מטוטר עם תמיסת כסף
חנקתי $\text{AgNO}_{3(aq)}$ בריכוז ידוע. מתרחשת תגובת השיקוע:

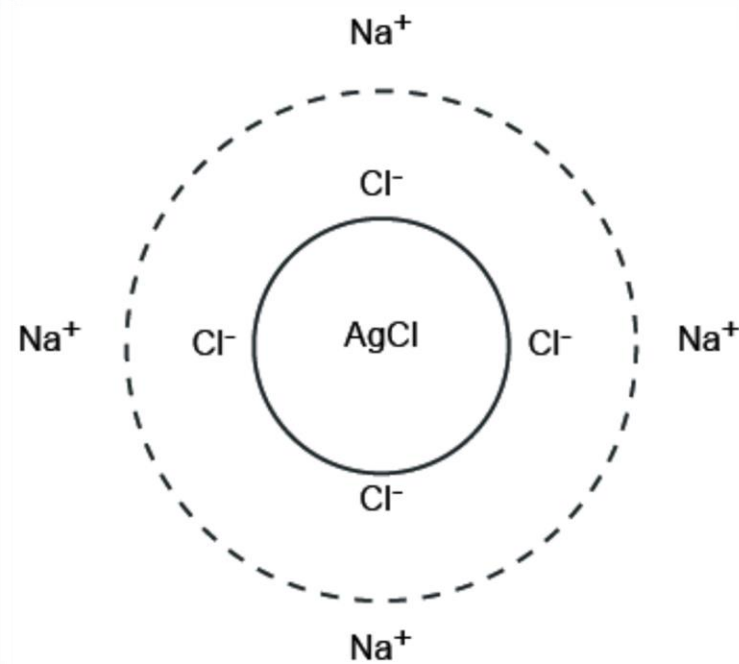


נקודת הסיום של הטיטרציה מתארת את המצב שבו נפח התמיסה
המטטרת מכיל כמות יוני כסף השווה לכמות יוני הכלור שבדגימה.

נקודת הסיום של התהליך (end point)



אחרי – ורוד אפרסק



לפני – צהוב זוהר



התגובה מתרחשת על שטח הפנים של המשקע שנוצר. נוכחות של יונים בריכוז גבוה גורמת למשקע להיווצר בגושים גדולים, דבר המקטין את שטח הפנים. במצב כזה קשה מאוד לזהות את תגובת הצבע המצביעה על נקודת הסיום. כדי להתגבר על תופעה זו, מוסיפים לתמיסת הדגימה דקסטרין (עמילן), שמסייע במניעת התגבשות גושי משקע גדולים.

האינדיקטור יעיל ביותר בתחום $5 < \text{pH} < 9$ ב- pH גבוה מ-9 עלול לשקוע $\text{AgOH}_{(s)}$.

תגובת הצבע של האינדיקטור קלה ביותר לזיהוי כאשר התמיסה צלולה וחסרת צבע יחסית. מכאן שרצוי לעבוד עם תמיסות בריכוז נמוך יחסית ולהימנע משימוש-יתר באינדיקטור שצבעו חזק.

יוני Ag^+ שוקעים גם עם יוני ההלוגנים האחרים F^- , Br^- , I^- ,

במעבדה ביצעו טיטרציה של דגימת מים כדי לקבוע את ריכוז הכלורידים. לטיטרציה של 25 מ"ל מים נדרשו 11.2 מ"ל תמיסת $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ בריכוז 0.3M. מהו ריכוז יוני הכלור בדגימה ביחידות ppm.

במעבדה ביצעו טיטרציה של דגימת מים כדי לקבוע את ריכוז הכלורידים. לטיטרציה של 25 מ"ל מים נדרשו 11.2 מ"ל תמיסת $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ בריכוז 0.3M. מהו ריכוז יוני הכלור בדגימה ביחידות ppm.

בשלב הראשון נחשב את מספר המולים של יוני הכסף שהגיבו:

החלקיק	Ag^+	AgNO_3
$\text{AgNO}_{3(\text{s})} \rightarrow \text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$		
יחס מולים	1	1
ריכוז (M)		0.03 M
נפח מטטר (ל')		11.2 ml = 0.0112 L
מס' מולים	0.000336	$n = 0.03 \cdot 0.0112 =$ $= 0.000336$

חישוב מס' המולים

בגלל יחס המולים זה גם מס' המולים של יוני הכסף

במעבדה ביצעו טיטרציה של דגימת מים כדי לקבוע את ריכוז הכלורידים. לטיטרציה של 25 מ"ל מים נדרשו 11.2 מ"ל תמיסת $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ בריכוז 0.3M. מהו ריכוז יוני הכלור בדגימה ביחידות ppm.

נחשב עכשיו את מספר הגרמים של יוני הכלור בדוגמה שטוטר:

בגלל יחס המולים
זהו גם מס' המולים
של יוני הכלור

החלקיק	Ag^+	AgNO_3
$\text{AgNO}_{3(\text{s})} \rightarrow \text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$		
יחס מולים	1	1
מספר המולים	0.00036	0.000336
מסה מולרית (גר'/מול)	35.5	
מסה (גר')	$0.000336 \cdot 35.5 =$ $= 0.0119$	

שאלה 3:

מהו ריכוז יוני הכלור ביחידות ppm?

AgNO ₃	Ag ⁺	החלקיק
$\text{AgNO}_{3(s)} \rightarrow \text{Ag}^+_{(aq)} + \text{NO}_3^-_{(aq)}$		
1	1	יחס מולים
0.000336	0.00036	מספר המולים
	35.5	מסה מולרית (גר'/מול)
	$0.000336 \cdot 35.5 = 0.0119$	מסה (גר')

א. 11.2 ppm

ב. 336 ppm

ג. 476 ppm

ד. 119 ppm

פתרון לשאלה 3:

מהו ריכוז יוני הכלור ביחידות ppm?
$$ppm = \frac{\text{מספר מג"מ מומס}}{\text{מספר ליטרים מים}}$$

נחשב את מסת יוני הכלור במ"ג, ואת נפח הדגימה בליטרים.

$$\begin{aligned} 0.0119 \text{ gr} &= 11.9 \text{ mg} \\ 25 \text{ ml} &= 0.025 \text{ L} \end{aligned}$$

תשובה: ריכוז יוני הכלור בדגימה הוא 476 ppm.

א. 11.2 ppm

ב. 336 ppm

ג. 476 ppm

ד. 119 ppm

למדנו מהם מים קשים וכיצד ניתן לקבוע את קשיות 

המים באמצעות טיטרציה עם EDTA

למדנו כיצד קובעים את ריכוז יוני הכלור באמצעות 

טיטרציה וולומטרית בשיטת Fajans

למדנו מהם האינדיקטורים אריוכרום שחור T 

ודו כלורו פלואורוסצאין