

# יין יסן בק(ק) אצא

מבין כ-250 מורים שהגישו תלמידים לבחינת הבגרות במעבדה בשנת הלימודים תשנ"ב (במסגרת 15 הניסויים במתכונת הירגילה), רק 7 מורים בחרו בניסוי אלקטרוליזה. ניסוי זה משלב מושגים מלימודי החשמל וממבנה החומר, והוא הניסוי היחיד (ברשימת הניסויים המומלצים לבית הספר התיכון), שבאמצעותו ניתן לחשב את מטען האלקטרון. אחת הסיבות לחוסר הפופולריות של ניסוי זה נובעת לדעתי מהעדר תיעוד זמין של הניסוי. (נוסח של הניסוי מתואר בספר "ניסויים לבית הספר התיכון", וכן ב"חשמל וחוקי שימור" שהדפסתם הופסקה לפני שנים אחדות). סיבה נוספת היא הנטייה שלנו כמורים לבחור בניסויים העשויים לעזור לתלמידים בבחינת הבגרות בכתב. ניסוי האלקטרוליזה דורש הכרה והבנה של המושגים: צפיפות, מול, מסה מולרית ומספר אבוגדרו, אשר רובם אינם נדרשים בבחינה בכתב.

במאמר זה אציג גרסה חדשה של הניסוי, אשר קלה יחסית לביצוע. מטען האלקטרון המתקבל מתוצאות ניסוי זה הוא בעל דיוק משביע רצון. הניסוי יכול להשתלב בהוראה בלימודי 'חשמל' או 'פיסיקה מודרנית' (ראה למשל "נושאים בפיסיקה של המאה העשרים" - כהן, גניאל וקירש, 1992, עמ' 72). אחר מציאת מטען האלקטרון באמצעות ניסוי זה מומלץ למדוד את היחס  $e/m$  של אלקטרון, (באמצעות שפופרת טלטרון למשל), ומתוצאות שני הניסויים לחשב גם את מסת האלקטרון.

ערי רזון

## מציאת המטען היסודי באמצעות אלקטרוליזה

ערי רזון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות,

משרד החינוך והתרבות

### מטרת הניסוי

מציאת המטען החשמלי היסודי מתוך התוצאות של ניסוי אלקטרוליזה.

### הציוד הדרוש:

★ כוס שתכולתה כ-  $400 \text{ cm}^3$ .

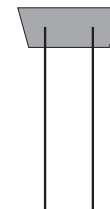
★ כוס שתכולתה כ-  $100 \text{ cm}^3$ .

★ משורה שתכולתה  $100 \text{ cm}^3$ .

★ שתי אלקטרודות ספירליות (עשויות נירוסטה).

★ 2 לוחיות נחושת נקיות<sup>(1)</sup> נעוצות בשני חתכים בפקק

גומי (ראה תרשים).



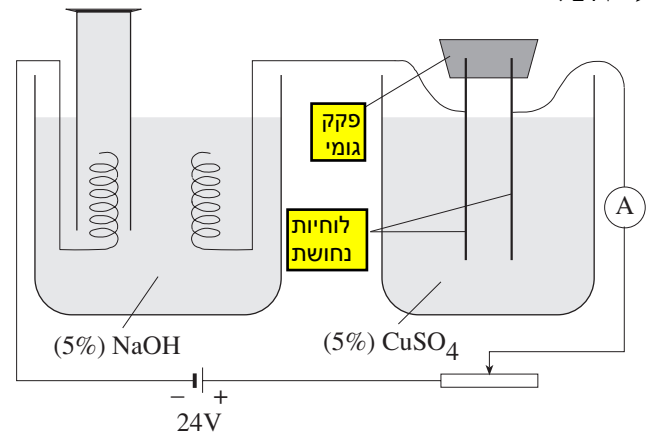
- ★ כ-  $450 \text{ cm}^3$  תמיסה של בסיס NaOH שריכוזה כ- 5%.
- ★ כ-  $80 \text{ cm}^3$  תמיסה של מלח  $\text{CuSO}_4$  שריכוזה כ- 5%.
- ★ מקור מתח ישר של 24V.
- ★ אמפרמטר בתחום של 0 - 5A (רצוי אנלוגי).
- ★ נגד משתנה שהתנגדותו כ-  $20 \Omega$ .
- ★ חמישה תיילים מוליכים - תיל אחד עם שני מצבטי "תנין" בקצוות, שני תיילים עם מצבט "תנין" אחד לכל תיל, ובקצוות התיילים האחרים מצבטי "בננה".
- ★ מאזניים שרגישותן  $0.01 \text{ g}$ .
- ★ שני כנים (סטטיבים); כל אחד עם מצמד ואוחז.
- ★ שעון עצר (תחום דיוק של שניות).
- ★ שני אטבי כביסה.
- ★ נייר פאראפילם (Parafilm) שממדיו כ-  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ .
- ★ פינצטה ארוכה.

(1) כדי לנקות את לוחיות הנחושת טבול אותן בתמיסה הכוללת: 1/3 חומצת חומץ, 1/3 חומצה חנקתית, 1/3 חומצה זרחתית. יש להקפיד על אמצעי זהירות בביצוע פעולה זו: הוצא בזריזות את לוחית הנחושת מתערובת החומצות בעזרת פינצטה, שטוף אותה במים ונגב במגבת נייר. הקפד להרכיב משקפי מגן. כל התהליך חייב להתבצע במנדף.

## הרכבת המערכת הניסויית

בנה את המערכת הניסויית המתוארת בתרשים 1, ללא המשורה; מזוג לכוס הגדולה תמיסה של NaOH, ולכוס הקטנה תמיסה של  $\text{CuSO}_4$ , כך שבכל אחת משתי הכוסות יגיעו הנוזלים לגובה של כ-2 ס"מ מתחת לשפת הכוס (אל תשתמש במשורה לצורך מזיגת תמיסה של מלח  $\text{CuSO}_4$  לכוס).

את שתי האלקטרודות הספירליות הדק לכוס הגדולה באמצעות אטבים. את הפקק (עם שתי לוחיות הנחושת) הדק באמצעות אוחו המחובר לכן באופן ששתי הלוחיות תהיינה טבולות בתמיסה של  $\text{CuSO}_4$ . בנה את המעגל החשמלי כשמצבטי "התנין" משמשים לחיבור התיילים לאלקטרודות וללוחיות הנחושת. כוון את מקור המתח ל-24V.



תרשים I

## ביצוע הניסוי

הפעל את מקור המתח, וקבע באמצעות הנגד המשתנה את עוצמת הזרם לערך בין 1A ל-2A. רשום את עוצמת הזרם;  $I = \text{---} \text{ A}$ ; והפסק את פעולת מקור המתח. הסר את לוחית הנחושת המחוברת להדק החיובי של מקור המתח, ויבש אותה (ניתן לנגב את הלוחית באמצעות נייר). מדוד ורשום את מסתה:  $m_1 = \text{---} \text{ g}$

החזר את אלקטרודת הנחושת לתוך החתך בפקק. מלא את המשורה בתמיסה של NaOH, וסגור אותה באמצעות נייר פאראפילם. אם נשאר אוויר במשורה, רשום את נפחו:  $V_0 = \text{---} \text{ cm}^3$ . הפוך את המשורה והכנס אותה לכוס הגדולה כך שהיא תימצא בדיוק מעל הספירלה של האלקטרודה המחוברת להדק השלילי של הספק. הדק את

המשורה לכן באמצעות אוחו, והסר את נייר הפאראפילם באמצעות פינצטה. הורד את המשורה כך שהספירלה תהיה בתוך המשורה.

הפעל בו-זמנית את שעון העצר ואת מקור המתח. וודא שעוצמת הזרם במהלך הניסוי נשארת קבועה (כפי שרשמת לעיל). אם עוצמת הזרם משתנה - ייצב אותה באמצעות הנגד המשתנה.

לאחר שרוב המשורה התמלאה במימן, הפסק בו זמנית את פעולת שעון העצר ואת פעולת מקור המתח. מדוד ורשום את:

משך הניסוי:  $t = \text{---} \text{ s}$

נפח המימן במשורה:  $V = \text{---} \text{ cm}^3$ . (אל תשכח לקחת בחשבון את נפח האויר  $V_0$  שהיה במשורה בתחילת הניסוי) מסת לוחית הנחושת (זו שאת מסתה מדדת בשלב המקדים) לאחר ייבושה:  $m_2 = \text{---} \text{ g}$

## ניתוח תוצאות הניסוי

א. חשב את כמות המטען שעברה במעגל החשמלי במהלך הניסוי.

ב. על-פי תוצאות הניסוי שהתקבלו לגבי המימן:

1. חשב את מספר אטומי המימן שהופרשו למשורה. המימן במשורה הוא דו-אטומי. מספר אבוגדרו (מספר מולקולות במול) הוא כ-  $6 \times 10^{23}$ . נפח מול גז בתנאי המעבדה הוא כ-  $24,500 \text{ cm}^3$  (בתנאים תקינים נפחו  $22,400 \text{ cm}^3$ ).

2. חשב את המטען היסודי.

ג. על-פי תוצאות הניסוי שהתקבלו לגבי אלקטרודת הנחושת:

1. חשב את הפחת במסת לוחית הנחושת.
2. חשב את מספר אטומי הנחושת שהופרשו מלוחית הנחושת לתמיסה. המסה המולרית של הנחושת היא כ-  $63.5 \text{ g}$ .
3. חשב את מספר אטומי המימן שהופרשו לכל אטום נחושת. מהו לפיכך המטען של יון נחושת?

## שאלה

1. אילו למעגל החשמלי היה מחובר בטור אמבט שלישי ובו תמיסה של מלח אלומיניום, מה היה פחת המסה של אנודה זו אם במעגל היתה עוברת אותה כמות מטען? (המסה האטומית של אלומיניום היא  $27 \text{ g}$ , וערכיותו 3).

## דוגמה של תוצאות ניסוי וניתוחם

להלן מובאות תוצאות שהתקבלו באחד הניסויים:

$$; V = 70 \text{ cm}^3 ; t = 270 \text{ s} ; I = 2 \text{ A} ; m_1 = 6.32 \text{ g}$$

$$m_2 = 6.13 \text{ g}$$

א. כמות המטען  $Q$  שעברה במעגל במהלך הניסוי:

$$Q = It = 2 \cdot 270 = 540 \text{ C}$$

ב. 1. מספר אטומי מימן (דו-אטומי)  $N_H$  שהופרשו:

$$N_H = \frac{2 \cdot (6 \cdot 10^{23}) \cdot 70}{24500} = 3.43 \times 10^{21}$$

2. המטען האלמנטרי  $e$ :

$$e = \frac{Q}{N_H} = \frac{540}{3.43 \times 10^{21}} = 1.57 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ג. 1. הפחת  $\Delta m$  במסת לוחית הנחושת:

$$\Delta m = 6.32 - 6.13 = 0.19 \text{ g}$$

2. מספר אטומי הנחושת  $N_{Cu}$  שהופרשו לתמיסה:

$$N_{Cu} = \frac{(6 \cdot 10^{23}) \cdot 0.19}{63.5} = 18 \times 10^{20}$$

3. המטען  $q$  של יון נחושת:

$$q = \frac{Q}{N_{Cu}} = \frac{540}{18 \times 10^{20}} = 3 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\Rightarrow \frac{q}{e} = \frac{3 \times 10^{-19}}{1.57 \times 10^{-19}} \approx 2$$

מראי מקום

ניסויים בפיסיקה לבית הספר התיכון, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, תשלי"ה.

חשמל וחוקי שימור, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, תשי"ל.

כהן, ר., גניאל, א. וקירש, י. (1992), נושאים בפיסיקה של המאה העשרים, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, תשנ"ג.