**מאז ועד היום, הפקת מתכת ממינרלי העפרה: נחושת ומלכיט**

(הותאם ונערך על ידי מתוך מערך של ©2004 by David A. Katz)

**מציגה: עדי אליהו**

**קורס הוראה תשע"ז**

**אוכלוסיית היעד: תלמידי כיתות י"א - י"ב**

בפעילות שלפנינו נציג ניסוי פשוט יחסית, שבו נפיק נחושת ממינרל העפרה, מלכיט נחושת קרבונט, בתהליך דו שלבי - תחילה נמיס את המינרל בחומצה גופרתית, ואח"כ נחזר את הנחושת מתוך התמיסה ע"י ברזל מתכתי.

לפי התהליך הבא:

שלב א': המסת המינרל בחומצה

**CuCO3.Cu(OH)2(s) + 2H3O+(aq)+ SO42-(aq)  → 2Cu2+(aq) + SO42-(aq) + 3H2O(l) + CO2(g)**

שלב ב' : חיזור הנחושת ע"י ברזל מתכתי

**Fe(s) + Cu2+(aq) → Fe2+(aq) + Cu(s)**

הניסוי אינו דורש שימוש במערך מורכב, למעט אמצעי מיגון לעבודה עם חומצה גופרתית בריכוז 3M .

הניסוי משתלב יפה בפרק ההוראה העוסק בתגובות חמצון חיזור.

**הרקע לניסוי**

מינרלים הם יסודות מוצקים או תרכובות, שנוצרו בתהליכי היווצרות כדור הארץ ונמצאים באופן טבעי בקרום הכדור. מינרלים שמכילים כמויות גבוהות מספיק של יסוד מסויים והוא ניתן לניצול מעשי ובעל ערך כלכלי, מכונים עפרות. מתכות בד"כ ניתנות להפקה מן העפרות ע"י שילוב של חימום העפרה ותהליך חיזור, בד"כ בתהליך הדורש השקעת אנרגיה רבה. אולם לא כל המתכות ניתנות להפקה בדרך זו, וחלקן מופקות בתהליכי אלקטרוליזה (פירוק התרכובת היונית ליסודותיה בעזרת זרם חשמלי).

המתכות האצילות, זהב וכסף שהן בעלות אקטיביות כימית נמוכה מופיעות בטבע בצורתן הילידית (טבעית). נחושת לעומתן, מופיעה בטבע גם בצורתה הילידית (בכמויות קטנות) וגם בצורת תרכובות מינרליות שונות.

עוד בימי קדם, סביב האלף השביעי לפנה"ס השתמש האדם בנחושת ילידית, וידע להפיק ממנה, תכשיטים וכלים עדינים. כמו כן היה שימוש נרחב במינרלים שונים של נחושת, שצבעיהם בד"כ חזקים ומושכים את העין, בעיקר להכנת תכשיטים וקמיעות. לפני למעלה מ- 6000 שנים בשלהי האלף החמישי לפנה"ס החל האדם לראשונה להפיק נחושת מעפרת נחושת.

לצורך כך היה עליו להבין שיש להתיך את המינרל בתנאים מיוחדים ו"להוציא", מתוכו את היסוד נחושת. בתהליך ארוך ורצוף קשיים למדו הקדמונים היכן לחפש את המינרלים המכילים נחושת, כיצד לכרות אותם וכיצד להפיק מהם נחושת מתכתית. גילוי הטכנולוגיה המאפשרת להפוך אבן ירוקה למתכת אדמדמה באמצעות שימוש באש היה פריצת דרך טכנולוגית מהפכנית בהתפתחות התרבות האנושית.

תהליך זה התרחש באזורים שונים בעולם ובתקופות שונות.

באזור דרום הלבנט, וישראל בתוכו קיימים שני מכרות נחושת עיקריים הנמצאים בערבה, בקעת תמנע, ופאינן שבירדן. בבקעת תמנע שבערבה, נמצאו מכרות נחושת מהעתיקים בעולם. מכרות נוספים בעלי משמעות היסטורית באזורינו הגאוגרפי נמצאים באי קפריסין. (אגב שם האי נגזר ככל הנראה מהמילה "נחושת" בקפריסאית של תקופת הברזל והתגלגל ללטינית . (Cuprum

העדויות להפקת נחושת בתמנע נתגלו לראשונה ע"י פטריק בשנת 1845, בצורתם של סיגי הפקה - "פסולת התעשייה" של התכת נחושת. מחקר ארכאולוגי שיטתי נערך בבקעה ובסביבתה משנת 1959 ואילך ע"י"משלחת הערבה" בראשות פרופסור בנו רותנברג.

בשנים האחרונות, מנוהלות חפירות ארכיאולוגיות בראשותו של דר' ארז בן יוסף מהחוג לארכיאולוגיה באוניברסיטת תל אביב, בעיקבותן מתוארכת פעילות הכרייה וההפקה בתמנע למאות ה-11 ועד ה-9 לפנה"ס.

**תהליך ההפקה:**

בנוסף למינרל העשיר בנחושת, בד"כ מכילה עפרת הנחושת, מינרלים נלווים. בתהליך ההפקה יש להפריד את הנחושת מיתר חומרי העפרה, ואלה מתקבלים כתוצר לוואי בתהליך ומכונים סיגים. על מנת להפריד את הנחושת מיתר מרכיבי העפרה יש להשקיע אנרגיה רבה המתקבלת ע"י חימום בתנור המוסק בפחם. לפחם שני תפקידים עיקריים בתהליך:

1. שריפת הפחם משחררת חום ואנרגיה
2. חיזור יוני הנחושת (במינרל) והפיכתה למתכת ניטרלית.

טמפרטורת ההתכה של הנחושת הינה C° 1083. טמפ' ההתכה של המינרלים הנלווים בד"כ גבוהה יותר ולכן על מנת לקבל הפרדה מלאה, יש להגיע לטמפרטורות שבין C° 1150-1250. כאשר שתי הפאזות, המתכת והסיגים במצב הנוזלי, מתקבלת הפרדת פאזות בין הסיג הקל יחסית, שעיקרו סיליקטי, למתכת הכבדה. את הסיג ניתן להזרים החוצה מפתח עליון בתנור ואת הנחושת מזרימים ליצירת מטיל – מתכת יצוקה. המטילים מתקבלים ברמת ניקיון גבוהה יחסית, ומשמשים כתוצר ביניים ולמטרות סחר. בשלב הבא זוקקו המטילים ונוספו להם אלמנטים נוספים כגון בדיל, על מנת לייצר ברונזה, סגסוגת של נחושת ובדיל ליצירת מתכת חזקה ועמידה יותר.

בעולם המודרני ועבור שימושים רבים בתעשיית האלקטרוניקה, דרגת הניקיון המתקבלת בתהליך ההפקה הראשוני אינה מספקת. לפיכך יוצקים את הנחושת ללוחות דקים. את תהליך הזיקוק מבצעים כיום בתהליכים אלקטרוליטיים. את הנחושת יוצקים ללוחות דקים, המשמשים כאנודות בתוך תאים אלקטרוליטיים גדולים המכילים נחושת גפרתית. ע"י העברת זרם חשמלי, מתמוססת האנודה ומתקבלת נחושת בדרגת ניקיון גבוהה (99.94-99.96% )על הקתודה.

בספר הכימיה אתגר עמודים 50-59 יש פירוט על הפקת נחושת באתר תמנע.

**כלים וחומרים:**

1. מלכיט כ – 5 גר' טחון דק.
2. חומצה גפרתית בריכוז 3M, (ע"י הוספת 167 מל' חומצה מרוכזת לליטר מים).
3. מסמרי ברזל נקיים
4. צמר פלדה/ או חומצה כלורית מהולה להסרת תחמוצות הברזל
5. 2 כוסות כימיות 250 מ"ל
6. צלחת פטרי זכוכית להנחת המסמרים המצופים
7. משפך ונייר סינון/מסננת.

**מהלך הניסוי:**

1. הנח כ 5 גר של אבקת המינרל בכוס כימית בגודל 250 מל'.
2. הוסף כ 50 מל' חומצה והמתן עד להמסה מלאה. אם יש צורך, הוסף עוד חומצה, כ 10 מל' בכל פעם על מנת להבטיח המסה מלאה. (שים לב שייתכן והמלכיט אינה נקיה, ולפיכך חלק מהחומרים הנלווים לא יתמוססו).
3. אמורה להתקבל תמיסה כחולה שקופה – הצבע נובע מנוכחות יוני Cu+2.
4. אם נשאר משקע, ניתן לסננו.
5. השתמש בכ 6 גר' של מסמרי ברזל קטנים – נקיים מקורוזיה. נתן לחשוף את פני השטח של הברזל ע"י שיוף בצמר פלדה ( או שימוש בחומצה מלחית).
6. הכנס את המסמרים אל התמיסה והתבונן בנעשה. הוצא את המסמרים בעזרת פינצטה, שטוף במים ויבש.
7. תאר את שהתרחש.

**ניסוי ברמה I**

התלמידים מקבלים את ההוראות לביצוע הניסוי ומבצעים אותו.

1) רושמים תצפיות, לפני, במהלך, ובסיום הניסוי.

2) סיכום הניסוי ופירוש התצפיות.

3) עונים על שאלות נלוות לניסוי.

**שאלות מלוות לניסוי:**

נתון התהליך:

**Fe(s) + Cu2+(aq) → Fe2+(aq) + Cu(s)**

1) קבע את דרגות החמצון של המגיבים והתוצרים בתהליך.

2) קבע מיהו המחמצן ומיהו המחזר בתהליך.

3) חשב כמה מול אלקטרונים עוברים בתהליך?

4) האם ניתן לקבוע את מסת הנחושת שהתקבלה בתהליך? הסבר מה דרוש לך על מנת לעשות זאת.