

סיכום הרצאה בנושא חומצות ובסיסים, כימיה כללית ופיזיקלית לרפואנים

23:19:30 2025-01-08

תוכן העניינים

1	עדכונים כלליים
1	חומר לבוחן השני
2	הגדרת חומצה לפי ארניוס
2	חומצות חזקות
2	הגדרת בסיס
3	תגובת נטרול
4	הגדרה לפי ברונסטד-לאורי (Brønsted–Lowry)
4	חומצה מצומדת ובסיס מצומד (Conjugate Acid-Base Pair)
4	קבועי שיווי משקל של בסיסים (K_b) ושל חומצות (K_a)
6	שיווי משקל בתמיסות של חומצות חלשות
7	יינון של HCl
7	השוואת חוזק חומצות - מדד ה- pK_a
9	קבוע פירוק עצמי של מים K_w
10	הגדרת: pH ו-pOH
10	שימוש ב-pH ו-pOH בחישובים
11	דוגמה 1 = תמיסה עם HCl בריכוז M 0.0025
11	דוגמה 2 = תמיסה עם pH = 4.5
11	pOH and pH, [OH-], [H3O+], Relating
13	חישוב ריכוז יונים בתמיסה מימית של חומצה חזקה
14	חישוב קבוע פירוק (K_a) של חומצה מתוך pH
15	שאלה 3
16	שאלה 3 - פתרון מלא
18	סיכום תשובות סופיות:

עדכונים כלליים

- לבקשתכם, היום יש בוחן במתמטיקה. לכן, דחינו את הבוחן בחימיה.
- מועדי הבוחן בחימיה:
- יום שישי: 10:00 - 11:15
- יום ראשון: 20:00 - 21:15
- מי שיש לו הקלות בזמנים ימלא טופס Docs. Google

חומר לבוחן השני

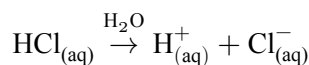
הנושאים שנבחרו לבחינה:

- מבנים מולקולריים
- תכונות קולגטיביות
- תמיסות

הגדרת חומצה לפי ארניוס

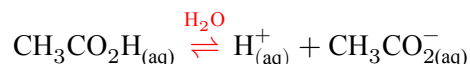
ההגדרה הפשוטה בעבר, בעבר הרחוק, איך קבעו אם משהו חומצה או בסיס? פשוט טעמו את התמיסה, ככה עשו את זה. אם היא הייתה "זוהר" - זוהר זה חמוץ, בגרמנית, אם היא הייתה חמוצה, קראו לה "עסד", חומצי. לעומת זאת, אם זה היה מריר, הגדירו את זה כבסיס. פשוט טעמו את הדברים, ואם הטעם היה מריר, הוא היה בסיס, ואם הטעם היה חמוץ, זה היה חומצה.

היום כמובן, אנחנו לא טועמים עם תמיסות ולא קובעים אם זה תמיסה או בסיס, בהתאם לטעם של התמיסה, אלא, אנחנו נסתמך על **ארניוס**, מדען שוודי, שהתחיל להגדיר מה זה בסיס ומה זה חומצה בשלבים בסיסיים ביותר, ונעבור להגדרת בסיס וחומצה המתקדמות ביותר.



ארניוס אמר שחומצה היא כל דבר שניקה במים והוא יתפרק באופן מוחלט ל H^+ .

למשל, אם אתה לוקח HCl , חומצה, אוקיי? זו חומצה כלורית. אם אתה ממס אותה במים, היא מתפרקת. אז תחל תהליך פירוק של הדבר הזה, הדבר הזה, לפי מספרי חמצון, אתם יודעים שהכלור הוא מינוס והמימן הוא פלוס, אז אתה בעצם תקבל במים, אקווה. לכן זה מסומן, תקבל H^+ וכלור מינוס. אז כל מה שמתפרק במים לתת H^+ מבחינתך מוגדר כחומצה.



עכשיו אני אתן לכם דוגמה למי עוד עושה את זה, חומץ. החומר הזה זה חומץ. גם חומץ שאני ממס אותו במים, הוא מתפרק בעצם באופן מסוים. יש כאן, מיד אני אסביר, יש כאן חומצה, יש כאן חלק של חומצה שמתפרק, אני מקבל H^+ ו- CH_3CO_2^- . כלומר, הדבר הזה מוגדר כחומצה, כאשר יש לי דבר שהוא $\text{C}=\text{O}$, עם OH , זה חומצה אורגנית, אוקיי? כאן זה OH , זה חומצה אורגנית, כאן R זה יכול להיות כל שרשרת אחרת אורגנית, למשל חומץ. זו גם חומצה, ואין לכם בעיה לצרוך אותה. אם תנסו לשתות HCl תעבירו להניח שאתם מנסים להתאבד, אוקיי? ההתאבדות לא נעימה, אבל אם אתם אוהבים לשתות HCl , זו חומצת מלח, מנקים את האמבטיה, מנקים את הכיור, היא מתפרקת באופן מלא.

חומץ, לעומת זאת, הוא בשיווי משקל, הוא מתפרק מעט אך גם הוא מתפרק לתת בסופו של דבר, עם מים, הדבר הזה יוצא, ואז אתה מקבל, O , C , R , מינוס, פלוס H^+ באקווה. עכשיו, תכף אני אסביר לכם שה- H^+ הוא לא דבר רגיוני, קורה משהו אחר, אבל הוא נותן לך H^+ . אז גם הוא חומצה, רק שזאת חומצה חלשה, היא מתפרקת מעט מאוד, היא חומצה מאוד מאוד חלשה, ואחוז הפירוק שלה הוא זניח, לכן אתה יכול לצרוך אותה, היא לא עושה לך שינוי חומציות מאוד גבוה. אבל ההגדרה הראשונה הייתה כל מה שמשחרר לתת לי H^+ , יוגדר חומצה.

חומצות חזקות

החומצות החזקות הן בדרך כלל חומצות שזה מימן עם איזשהו הלוגן. חומצה חזקה למשל זה HBr , זה מימן עם הלוגן, למשל HCl זה חומצה כלורית, HI , כל אלה שיש לך מימן עם הלוגן, קשר של מימן והלוגן, אלה חומצות חזקות, שמתפרקות מיד לתת H^+ ו- Br^- או אחר.

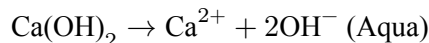
הגדרת בסיס

ההגדרה של בסיס הייתה בדיוק הפוך: כל מה שבתהליך הפירוק שלו נותן לך את היון ההידרוקסיד (OH^-). למשל, סודה קאוסטית - (דור: כמו סודיום הידרוקסימי - נתרן הידרוקסיד) (NaOH),

, מה שקוראים לזה הרבה פעמים, שאתם הולכים לרכוש בטמבוריה חומר לנקות סתימות בשירותים, בדרך כלל מה שמוכרים לכם, מוכרים לכם גרגרים של סודיום הידרוקסיד. הדבר הזה במים מתפרק ונותן את היון סודיום פלוס (Na⁺) והיון הזה - ה-OH⁻ הידרוקסיד, הוא מוגדר בסיס.

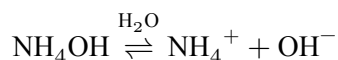
כל מה שמתפרק לתת OH⁻ מוגדר בסיס. אוקיי? הוא מוגדר כבסיס. לבסיס הזה יש יכולת לפרק חומר אורגני, רוב הסתימות בשירותים הן חומר אורגני, שומנים, שיער וכדומה, וזה מפרק ומשחרר את הסתימה ברוב המקרים.

אז הוא הוגדר בסיס, כל מה שמשחרר לתת לך ה-OH⁻. כל חומר שבתהליך, התגובה שלו עם מים נותן לך ה-OH⁻. זה יכול להיות למשל החומר הזה, קלציום (Ca) (דור: סידן). אם אני לוקח למשל קלציום, ה-OH⁻ פעמיים. החומר הזה במים מתפרק לתת לי:



פעמיים ה-OH⁻ וזה יהיה בסיס.

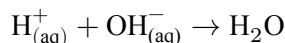
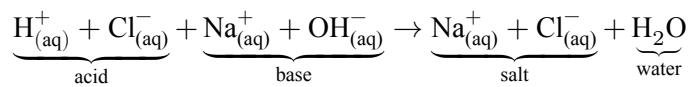
עכשיו, אתה יכול לקבל ה-OH⁻ גם בתגובה עם מים, שהיא לא בהכרח עם חומר שכאילו בהכרח מפרק את זה, אבל אם אתיקה המוניום ה-OH⁻, אתה לוקח אמוניום הידרוקסיד (NH₄OH), גם הוא במים יתפרק לתת לך:



אז ארניוס אמר שכל דבר שמשחרר ה-OH⁻, אם זה איזושהו אל-מתכת עם ה-OH⁻ או איזושהו חומר שבפירוק שלו במים נותן OH, יוגדר כבסיס. אז ההגדרה שלהם הפכה להיות הגדרה יותר ברורה: האם זה משחרר בסיס, האם זה משחרר H⁺, האם זה משחרר OH⁻.

תגובת נטרול

כן, אז למשל התגובה הפשוטה ביותר, זו תגובת נטרול. אוקיי? נטרול או תגובת סתירה בעברית. מה קורה כשאתה מגיב חומצה עם בסיס? אם אני לוקח חומצה כמו HCl, היא מתפרקת במים, ואני אקח תמיסה שהיא בסיס, NaOH. התגובה שלהם היא תגובת סתירה:



מה הכוונה? ה-H⁺ יגיב עם ה-OH⁻ לקבלת מים. אז בעצם תהליך נטו של סתירה הוא שאתה לוקח חומצה שהיא משחררת H⁺, ואתה לוקח OH⁻, אז זו חומצה, זה בסיס. הם מיד מגיבים לתת מים, וזה תהליך שנקרא נטרול, או בעברית סתירה.

תהליך של סתירה הוא שאם אתה לוקח חומצה ובסיס, הם מגיבים לתת מים. כמובן ש-OH⁻ לא מגיב כי הוא לא שוקע עם הכלור, אלה נשארים בתמיסה, ואתה מקבל מים. התגובה הזאת היא אחת הבעיות עם התגובה הזאת, שהיא תגובה מאוד אקזותרמית. כשאתה מגיב חומצה עם בסיס, זה משחרר הרבה מאוד חום. לכן, אם מישהו נשפכה עליו חומצה, אתה לא מנטרל אותו. הטיפול שלך זה לא לנטרל אותו בבסיס.

זה נכון שאם תעשה שימוש בבסיס זה ינטרל את החומצה, אבל תיצור כווייה מדרגה שלישית, כי זו תגובה מאוד אקזותרמית. לכן, כל מי שנפגע מכווייה, מחומצה או מבסיס, מה עושים? שוטפים במים בלבד. שטיפה מסיבית במים. לא מנטרלים עם בסיס או עם חומצה. זה חשוב כי א' אתם לא יודעים את הריכוזים המדויקים, וב' זו תגובה מאוד אקזותרמית שעלולה לגרום לנזק נוסף.

הגדרה לפי ברונסטד-לאורי (Brønsted-Lowry)

מודל מתקדם יותר שפותח על-ידי הכימאים יוהן ניקולאוס ברונסטד וטומס מרטין לאורי, מגדיר חומצה בתור **חומר שמסר פרוטון**, ובסיס ככל **חומר שקיבל פרוטון**.

כלומר, חומצה היא כל מי שנותנת פרוטון H^+ (פרוטון דונור), ובסיס הוא כל מי שמקבל פרוטון (פרוטון אקספטור). ההגדרה הזו מרחיבה את ההבנה שלנו לגבי תגובות.

בהמשך נעזר בסימון HA לחומצה כלשהי, ו- A^- לבסיס מצומד שלה. באופן דומה, נשתמש בסימון B לבסיס כלשהו, ו- HB^+ לחומצה מצומדת שלו. במודל של ברונסטד-לאורי אגב, בסיס לפעמים מסומן כ-B, כדי להדגיש שהוא מקבל פרוטון, וחומצות לעיתים מסומנות כ- H_2A , H_3A וכדומה, כדי להדגיש את מספר הפרוטונים שהן יכולות למסור.

לדוגמה, מים: אתם לא רגילים לחשוב שמים הם חומצה, נכון? אבל מים יכולים להתנהג כחומצה. בתגובה בין אמוניה (NH_3) למים:

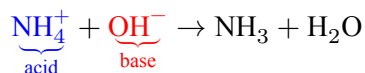


מה קרה כאן? המים מסרו פרוטון, ולכן הם חומצה בתגובה הזו. האמוניה (NH_3) קיבלה פרוטון ולכן היא בסיס.

חומצה מצומדת ובסיס מצומד (Conjugate Acid-Base Pair)

מה שנוצר לנו זה חומצה מצומדת ובסיס מצומד:

NH_4^+ היא החומצה המצומדת שנוצרה, ו- OH^- הוא הבסיס המצומד. אם נהפוך את התגובה:



נראה שהחומצה המצומדת יכולה לתפקד כבסיס, והבסיס המצומד כחומצה.

אוקיי, אז הרבה פעמים כן בדיוק זה שיווי משקל בדיוק אם אתה מסתכל בשיווי משקל אם אתה מסתכל על הריאקציה הזאת בשיווי משקל זה בסיס זו חומצה זו חומצה זה בסיס. אז קוראים לזה שבעצם תראו עוד פעם הריאקציה אתם זוכרים שלימדתי אתכם תהליך שיווי משקל אז מה שאתם רואים במקרה הזה יש לכם ככה בריאקציה הזאת אם אני מסתכל עליה בסיס זה כל מי שקיבל פרוטון, חומצה זה כל מי שמסר פרוטון.

אז פה בריאקציה הזאת מים הם חומצה, כמה שזה נשמע רדיקלי, מים הם חומצה כי הם מסרו את הפרוטון.

אבל מה שקורה לך, אתה יוצר לכל בסיס, אתה יוצר על ידי זה שהוא מקבל פרוטון, הוא בעצם יוצר חומצה מצומדת, וכל חומצה על ידי זה שהיא מסרה פרוטון היא הופכת להיות לבסיס מצומד. ואם אני מסתכל על הריאקציה אז יש לי בסיס חומצה, חומצה בסיס. יצאתי מחומצה אחת קיבלתי את הבסיס המצומד שלה, יצאתי מבסיס קיבלתי חומצה. אוקיי? כי ההגדרה כעת הפכה להיות הגדרה מאוד מאוד רחבה: מקבל פרוטון ומוסר פרוטון.

אוקיי, אז אם אתם מסתכלים שוב בכלל, אני חוזר לאותו דבר: מים אמוניה בשיווי משקל, OH^- , אמוניום, ויש לי בעצם חומצה בסיס, בסיס מצומד, חומצה מצומדת לפי ההגדרות. והרבה פעמים כדאי שתדעו את הביטויים האלה, כן, אני אגיד לכם חומצה מצומדת אז אתם יודעים שיצא מאיזושהו בסיס, או בסיס מצומד יוצא מאיזושהי חומצה. בסדר?

קבועי שיווי משקל של בסיסים (K_b) ושל חומצות (K_a)

עכשיו, אם נסתכל על התהליך הזה ונזכר שלימדתי אתכם קבוע שיווי משקל K_c , אז מה זה קבוע שיווי משקל של תהליך מסוים? קבוע שיווי משקל זה ריכוז התוצרים, כלומר:

$$\frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3][\text{H}_2\text{O}]}$$

אבל אם אתם זוכרים, לימדתי אתכם שעודף מים לא נכנס לחישוב קבוע שיווי משקל, ולכן נוריד את ריכוז המים מהמשוואה. נשאר:

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

הקבוע הזה עבור התגובה הוא 1.8×10^{-5} (דור: Ionization constant).

במי שעושה שבדוק קבוע שיווי משקל, בודק בריכוזים שונים את אלה ואת אלה ומוציא את זה. כן, ברור, תמיד יהיה לכם את קבועי שיווי המשקל, וזה בעצם קבוע שיווי המשקל של בסיס. שימו לב, לכן קוראים לו K_b , קבוע שיווי משקל של הבסיס.

למה? כי פה אמוניה היא בסיס, מגיבה עם מים לקבלת $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$.

זהו קבוע הפירוק של הבסיס. אמוניה היא בסיס, טוב, היא בסיס, ומים מתפקדים כחומצה. מקבלים את החומצה המצומדת לבסיס ואת הבסיס המצומד לחומצה. עושים קבוע שיווי משקל, מורידים מים (כי מים נמצאים בעודף), ומקבלים:

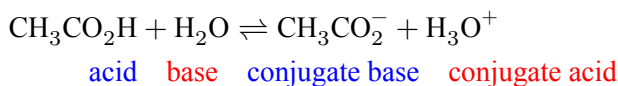
$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

אמרנו שבתהליכים ממימיים, המים נמצאים בעודף, והריכוז שלהם לא משתנה בכלל, הוא נחשב כקבוע. לכן, מורידים אותו מהמשוואה. כמו שאתה לא מכניס מוצקים לקבוע שיווי משקל.

אם אני אקח חומצת חומץ ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$) ואעשה אותו דבר, זו חומצה.

המים כאן יתפקדו כבסיס. למה? כי המים לוקחים פרוטון ומקבלים H_3O^+ .

לכן, במקרה הזה, החומצה מגיבה עם מים, המים מתפקדים כבסיס ומקבלים את התוצרים הבאים:



במקרה הזה $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ (aq) הוא החומצה, H_2O הוא הבסיס, CH_3CO_2^- הוא הבסיס המצומד, ו- H_3O^+ הוא החומצה המצומדת.

כמו כן, ניתן לחשב את קבוע שיווי המשקל (קבוע החומצה) כך:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{CO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

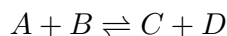
במקרה זה, מים נמצאים בעודף ולכן הם לא נכנסים לחישוב הקבוע.

קבוע הפירוק של חומצה אצטית ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$) הוא:

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$$

מעניין לציין שבמקרה זה הערך של K_a עבור חומצה אצטית זהה לערך של K_b עבור אמוניה, אך מדובר בחומרים שונים: במקרה אחד מדובר בחומצה בתמיסה ובמקרה השני בבסיס בתמיסה.

התהליכים זהים ברמה הכימית, אך התכונות משתנות לפי סוג החומר.
זאת תגובה של בסיס בתמיסה מימית? כן, תמיד קבוע שיווי משקל. אם אתם זוכרים, אם יש לכם:



אז קבוע שיווי משקל מוגדר כ:

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

אתם זוכרים? כאילו אתם לומדים ואז שוכחים, זורקים את זה לפחד, ולפני הבחינה לומדים מחדש. אבל זה היה לפני שבועיים בערך, נכון? קבוע שיווי משקל, זוכרים? לא? לא אומר לכם שום דבר קבוע שיווי משקל? כי המים הם בעודף.
כן, גם בשיווי משקל רגיל עושים את זה. אם אני יודע שהמים נמצאים בעודף, אני יכול להוריד אותם מקבוע שיווי המשקל. כל הריאקציות שבהן ממסים חומצות בתמיסות מימיות – המים הם בעצם הממס. השינויים בריכוז המים הם זניחים.
לדוגמה, בתהליך כזה, הריכוזים משתנים:

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

אבל, אם אני מתייחס למים כעודפים, אני מוריד אותם מהמשוואה. כי בעצם, אם אני ממס חומר במים, המים כמעט ולא משתנים. הם קבועים מבחינת הריכוז, ולכן אפשר להתעלם מהם בחישובים.
עכשיו, זה הופך להיות קבוע שיווי משקל עבור חומצה:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][CH_3CO_2^-]}{[CH_3COOH]}$$

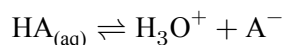
במקרה הקודם, אם זו הייתה תגובת בסיס, היה מתקבל:

$$K_b = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

אלו קבועי שיווי משקל עבור תגובות חומצות או בסיס בתמיסות מימיות.
לכן, קוראים לקבועים האלה K_a במקרה של חומצה ו- K_b במקרה של בסיס. מדובר בריאקציות ייחודיות, ולכן נתנו להם ביטויים ספציפיים שמזהים אם מדובר בבסיס או חומצה.
מה ההבדל? זה תלוי בממס ובחומר המומס. אם אני מגיב חומצה עם מים, זו תהיה תגובת חומצה ותוגדר K_a . אם מדובר בבסיס, אז נקבל K_b . המים עצמם הם הממס, ומה שנעשה תלוי בחומר שאתה ממס ובכיוון התגובה.

שיווי משקל בתמיסות של חומצות חלשות

אוקיי, בסדר? אז זה בסיס וחומצה, זו הגדרה פשוטה לבסיס וחומצה. עכשיו, שנייה רגע, רגע, איפה אני? אוקיי, עכשיו, אם אתם לוקחים חומצה חלשה, ואנחנו נקרא לה HA, איזושהי חומצה כללית, כן?



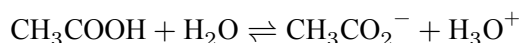
ברישום אחר, משמיטים את התגובה עם המים וכותבים את הפרוטון שמשחרר ישירות:



אז קבוע שיווי המשקל של חומצה חלשה נקרא K_a , והוא מוגדר כך:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

אם תסתכלו על חומצה חלשה, לדוגמה חומצה אצטית CH_3COOH , היא לא מתפרקת במלואה:



במקרה זה, קבוע שיווי המשקל מוגדר כך:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

חומצות חלשות מתאפיינות בכך שהן מתפרקות רק חלקית בתמיסה מימית.

חומצות חזקות הן בדרך כלל חומצות שמימן מחובר בהן להלוגן (למשל HCl , HBr , HI) או לחומצות חמצן חזקות (כגון H_2SO_4). לעומת זאת, חומצות אורגניות כמו חומצה אצטית, חומצה לימונית או חומצה בוטירית הן לרוב חומצות חלשות.

יינון של HCl

חומצה חזקה מתפרקת במלואה. אין קבוע שיווי משקל – הכל מתפרק. לדוגמה, HCl :



אין לך HCl יותר, הכל מתפרק. אם לקחת 1 M, אחרי שהומסת את זה במים, יש לך 1 M H^+ ו- 1 M Cl^- . חומצה חזקה, אין לה קבוע שיווי משקל כי הפירוק שלה כמעט מושלם, אבל הקבוע שלה מאוד גבוה.

השוואת חוזק חומצות - מדד ה- pK_a

כדי להשוות בין חומצות, משתמשים במדד שנקרא pK_a . מה זה pK_a ?

הוא מוגדר כך:

$$pK_a = -\log K_a$$

המדד הזה נותן דרך נוחה להשוות בין חוזק החומצות – ככל שה- pK_a קטן יותר, כך החומצה חזקה יותר.

לדוגמה, אם $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ עבור חומצה אצטית, אז:

$$pK_a = -\log(1.8 \times 10^{-5}) \approx 4.74$$

משמעות ה- pK_a היא שהיא מאפשרת השוואה ישירה בין חומצות שונות ומסייעת להבין מי מהן חזקה יותר.

כן, זה לוקח זמן להתרגל ולהבין את כל המדדים והטבלאות, אבל עם הזמן תצליחו לזהות חומצות חזקות וחלשות ולהשתמש ב- K_a וב- pK_a בצורה יעילה.

אז דבר הבא שאני מגדיר, הרי שמעתם למשל את המושג PH? יפה. אז לפני שמגיעים ל-PH, מתחילים עם pK_a , ואחרי זה עושים PH, ואז pOH .

נעשה כל מיני פייס. עכשיו מתחילים ב- pK_a . מה זה pK_a ? pK_a הוא מינוס לוג קבוע הפירוק של החומצה.

לדוגמה, אם קבוע שיווי המשקל של חומצה הוא 1.5×10^{-7} , אנהנו מחשבים את pK_a כך:

$$pK_a = -\log(1.5 \times 10^{-7})$$

התוצאה של החישוב הזה היא מספר שמאפשר לנו להשוות חומצות בקלות.

לדוגמה, אם יש לך שתי חומצות עם pK_a של 6 ו-2.5, החומצה עם pK_a של 2.5 חזקה יותר.

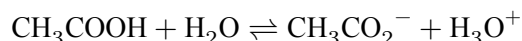
ככל ש- pK_a קטן יותר, החומצה חזקה יותר. אם הרופא אומר שצריך לשנות ריכוז של תרופה, ושהחומצה צריכה להיות עם pK_a גבוה יותר, זה אומר שהחומצה חלשה יותר.

במקום להשתמש במספרים כמו 1.5×10^{-7} , השימוש ב- pK_a הופך את ההשוואה לקלה יותר. לדוגמה, חומצה אצטית עם $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ תחשב כך:

$$pK_a = -\log(1.8 \times 10^{-5}) \approx 4.74$$

המשמעות של pK_a היא שהוא מספר המייצג את חוזק החומצה. ככל שהערך נמוך יותר, החומצה חזקה יותר. זו דרך נוחה להשוות בין חומצות שונות על בסיס קבוע שיווי המשקל שלהן.

בואו נזכור שוב את התהליך של חומצה אצטית:



במקרה זה, pK_a מאפשר להבין את חוזק החומצה ולהשוות אותה לחומצות אחרות. כל מספר pK_a מאפשר לך לדעת בקלות מי החומצה החזקה או החלשה יותר בתגובה מסוימת.

עכשיו, כל החומצות. עכשיו, אם אתם תסתכלו כאן, לשאלתכם, חומצות חזקות. שנייה, מיד, אני מוצא זמן, אראה לכם רשימה של כל מיני חומצות שהן מוגדרות כחומצות חזקות. למשל:

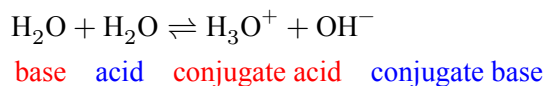
- חומצה פרכלורית HClO_4
- חומצה יודית HI
- חומצה ברומית HBr
- חומצה מלחית HCl
- חומצה ניטרית HNO_3

כל אלה הן חומצות מאוד חזקות, אוקיי? אלה הן חומצות חזקות. החומצות שנמצאות פה עד לכיוון מיים. יש בסיסים וחומצות.

אז כשאנחנו מסתכלים על בסיס וחומצה, אנחנו יכולים להגדיר מי חזק ומי חלש לפי הריאקציה שלהם או התגובה שלהם במים. אבל זה פחות חשוב לי. עכשיו אני אעבור לדבר על קבוע הפירוק של מיים. זו הנקודה המעניינת מאוד.

קבוע פירוק עצמי של מים K_w

עכשיו, אם אני לוקח מים ומים, כלומר, אני לוקח מולקולת מים ומגיב אותה עם מולקולה אחרת של מים בשיווי משקל, מתקבל:



כלומר, המים יכולים להגיב בינם לבין עצמם ולפרק זה את זה. מולקולת מים אחת תתפקד כחומצה והשנייה תתפקד כבסיס. זה נקרא "קבוע פירוק עצמי של מים".

בואו נגדיר את קבוע שיווי המשקל עבור פירוק המים:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-].$$

קבוע הפירוק של מים, K_w , הוא ריכוז H_3O^+ במים כפול ריכוז OH^- במים. ועכשיו אתם שואלים: כמה זה קורה? כמה המים מתפרקים? קבוע שיווי המשקל של המים הוא:

$$K_w = 1 \times 10^{-14}$$

כדי להגיע לערך הזה, ריכוז כל אחד מהיונים H_3O^+ ו- OH^- צריך להיות:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$$

כלומר, רק מולקולה אחת מתוך 10 מיליון מולקולות מים מתפרקת.

אם נחשב את הלוגריתם של $[\text{H}_3\text{O}^+]$:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+].$$

במקרה של מים טהורים:

$$\text{pH} = -\log(1 \times 10^{-7}) = 7.$$

זו הסיבה ש-pH של מים נקיים הוא 7.

חשוב להבין שהערך הזה עשוי להשתנות בטמפרטורות שונות. המים יכולים לתפקד כחומצה ובסיס בו-זמנית, וזה קורה באופן קבוע בגוף. לדוגמה, כשמדברים על pH בגוף, הכוונה היא למידת הפירוק של המים בתאי הגוף.

במקרה של חומצה ובסיס מצומדים, $K_a \times K_b = K_w$. כלומר, כאשר חומצה ובסיס מצטמדים, קבוע הפירוק של החומצה כפול קבוע הפירוק של הבסיס שווה לקבוע הפירוק של המים, בגלל שהריכוזים הנוספים מתבטלים במכפלה.

שאלות עד כאן? כן, אז במים יש גם H^+ וגם OH^- . אבל, הפירוק של המים זניח באופן יחסי ולכן הם נותרים יציבים רוב הזמן.

בעצם במושג K_w , הם מתייחסים לקבוע הפירוק של המים. כלומר, זה מתאר את הפירוק העצמי של מים.

שימו לב, כאשר מוסיפים חומצה למים, ריכוז ה- H^+ גדל, וזה משנה את האיזון. קבוע הפירוק של המים, שנמצא בערך 10^{-14} , יושפע בתהליך זה.

אם כך, יש לנו את קבוע הפירוק של המים, K_w , ועכשיו נגדיר פרמטרים חדשים. הרי כבר הגדרנו $\text{p}K_a$, מי זוכר מה זה היה? $\text{p}K_a$ הוא מינוס לוגריתם של קבוע הפירוק של החומצה:

$$pK_a = -\log K_a.$$

הגדרת: pH ו-pOH

עכשיו נגדיר שני פרמטרים חדשים: pH ו-pOH.

מהו pH? הוא מוגדר כך:

$$pH = -\log[H_3O^+].$$

ומהו pOH? הוא מוגדר כך:

$$pOH = -\log[OH^-]$$

ידוע כי:

$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}.$$

מכאן נגזר:

$$pH + pOH = 14.$$

כלומר, במים ניטרליים שבהם $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$, נקבל:

$$pH = 7, \quad pOH = 7.$$

תמיסות שבהן ערך pH גבוה מ-7 הן תמיסות בסיסיות, שכן ריכוז יוני OH^- גבוה יותר מריכוז יוני H^+ . תמיסות שבהן ערך pH נמוך מ-7 הן תמיסות חומציות, שכן ריכוז יוני H^+ גבוה יותר מריכוז יוני OH^- .

לדוגמה, אם לתמיסה מסוימת יש $pH = 12$, מהו ה-pOH? מכיוון ש- $pH + pOH = 14$, אז:

$$pOH = 14 - 12 = 2.$$

במקרה זה, התמיסה היא בסיסית, כיוון שה-pH גבוה מ-7, מה שמעיד על עודף יוני OH^- .

אם $pH = 8$, מה זה אומר על התמיסה? היא בסיסית, כי יש עודף של יוני OH^- , והאיזון הכולל נשמר כך ש- $pH + pOH = 14$.

שימוש ב-pH ו-pOH בחישובים

בואו נראה איך עכשיו אנחנו יכולים לחשב ריכוזים של חומצות ו pH של תמיסה.

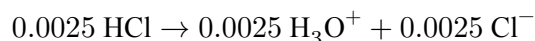
דוגמה 1 = תמיסה עם HCl בריכוז 0.0025 M

לוקחים תמיסה של HCl בריכוז 0.0025M. חשבו מה ה-pH של התמיסה. (זה ריכוז מאוד מאוד נמוך - זה 25 mM מולר של HCl).

איך אני מחשב את ה-pH? אם אתם זוכרים, ההגדרה של pH היא:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

אבל כשחומצה כזאת מתמוססת במים היא מתמוססת כולה במים (דור: מדובר בחומצה חזקה). כלומר:



אז בעצם מה שאני צריך לשים זה הריכוז שהתפרק פה. אז אני לוקח את הריכוז של H_3O^+ שתפרק מהחומצה הזאת. זה $2.5 \cdot 10^{-3}$, מכניס את זה ביחידות מולר, מכניס את זה למינוס לוג וזה $\text{pH} \approx 2.6$.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 0.0025 = 2.6$$

מה זה אומר על החומצה? התמיסה מאוד חומצית.

דוגמה 2 = תמיסה עם pH = 4.5

אתה יכול לעשות גם הפוך. אתה יכול לחשב מה הריכוז של יון H_3O^+ אם ניתן לך pH, כי אתה יודע ש- $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$. אם לדוגמה $\text{pH} = 4.5$, אתה עושה לזה אינברס כלומר

$$\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -4.5 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4.5}$$

$10^{-4.5}$ ומוצא, למשל, שאם ה-pH הוא 4.5, ריכוז יון H_3O^+ הוא $3.2 \cdot 10^{-5}$.

נוסיף את הנוסחה החשובה:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \rightarrow \text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

pOH and pH, [OH-], [H3O+], Relating

ammonia. household and rainwater of samples of pH the measured students experiment, laboratory a In Determine:

- 4.35. at measured pH with rainwater the in $[\text{H}_3\text{O}^+]$ (a)
- 11.28. at measured pH with ammonia in $[\text{OH}^-]$ (b)

Solution

pH: of definition the From $[\text{H}_3\text{O}^+]$ **Determining (a)**

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+].$$

Rearranging:

$$\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\text{pH}.$$

\$: 4.35 = \text{pH}\$ Substituting

$$\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -4.35.$$

antilog: the Taking

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4.35} \approx 4.5 \times 10^{-5} \text{ M}.$$

relationship: the using pOH calculate First, $[\text{OH}^-]$ **Determining (b)**

$$\text{pOH} = 14.00 - \text{pH}.$$

:pH = 11.28 Substituting

$$\text{pOH} = 14.00 - 11.28 = 2.72.$$

pOH: of definition the From

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-].$$

Rearranging:

$$\log[\text{OH}^-] = -\text{pOH}.$$

:pOH = 2.72 Substituting

$$\log[\text{OH}^-] = -2.72.$$

antilog: the Taking

$$[\text{OH}^-] = 10^{-2.72} \approx 1.9 \times 10^{-3} \text{ M}.$$

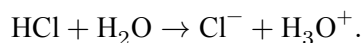
Therefore:

- $4.5 \times 10^{-5} \text{ M}$ rainwater: in $[\text{H}_3\text{O}^+]$ •
- $1.9 \times 10^{-3} \text{ M}$ ammonia: in $[\text{OH}^-]$ •

חישוב ריכוז יונים בתמיסה מימית של חומצה חזקה

solution. 0.015 M HCl a in $[\text{OH}^-]$ and $[\text{Cl}^-]$, $[\text{H}_3\text{O}^+]$ Calculate

Reaction



Therefore: water. in dissociates fully it acid, strong a is HCl Since **Solution**

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.015 \text{ M.}$$

$$[\text{Cl}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 0.015 \text{ M.}$$

: K_w constant dissociation water the Using **$[\text{OH}^-]$ Calculating**

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}.$$

: $[\text{OH}^-]$ for Rearranging

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.015 \text{ M}$ Substituting

$$[\text{OH}^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.015} \approx 6.7 \times 10^{-13} \text{ M.}$$

Results Final

- $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.015 \text{ M}$
- $[\text{Cl}^-] = 0.015 \text{ M}$
- $[\text{OH}^-] \approx 6.7 \times 10^{-13} \text{ M}$

הערה אם החומצה חזקה החיים שלך קלים, כי הריכוז של החומצה הוא הריכוז של יוני H_3O^+ , כלומר: נוסחה כללית למציאת pH עבור חומצות חזקות:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \text{החומצה ריכוז}$$

ועבור חומצות חלשות:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

מערכות איזון בגוף: הגוף שומר על pH בדם בין 7.35 ל-7.45 בעזרת מערכת בופר. חוסר איזון יכול להוביל לתופעות כמו אבנים בכליה.

ניתן לחשב:

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

כאשר $K_w = 1 \cdot 10^{-14}$.

חומצות חזקות שמתפרקות לחלוטין במים, כמו HCl או HBr, מחושבות בקלות. לדוגמה, אם יש לכם תמיסה של 0.015 M של HCl, הריכוז של H_3O^+ יהיה 0.015 M בדיוק.

לעומת זאת, בחומצות חלשות כמו CH_3COOH , החישובים מורכבים יותר ודורשים את קבוע הפירוק K_a של החומצה. לדוגמה, עבור חומצה אצטית $K_a = 1.8 \cdot 10^{-5}$, ניתן לחשב את pH על ידי מציאת ריכוז H_3O^+ באמצעות משוואת שיווי המשקל. נסכם: pH מחושב באופן שונה עבור חומצות חזקות וחלשות, והבנת הקבועים הכימיים חיונית. מערכות איזון בגוף תומכות בשמירה על pH מאוזן גם כאשר צריכת המזון משפיעה על רמות החומציות והבסיסיות בגוף.

אוקיי, אבל עכשיו זה קבוע פירוק של חומצה למשל לאמין או לבסיס גם יש קבוע פירוק. עכשיו איך אנחנו קובעים את קבוע הפירוק של חומצות ו-pH מתמיסה? נכשיו לחישובים. עכשיו כל הנושא הזה של חומצות ובסיסים זה בעצם בסוף נורא מורכב לתלמידים כי זה הרבה פעמים קבועי שיווי משקל.

ואתם לא חזרתם על זה ואחרי זה לפעמים הופך להיות קבועי שיווי משקל עם כמה משוואות. בסדר, אבל לא להיבהל, בסופו של דבר זה משוואות פשוטות ביותר.

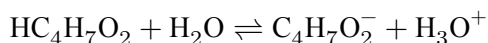
חישוב קבוע פירוק (K_a) של חומצה מתוך pH

בואו נסתכל על חישוב K_a של חומצה מתוך pH של החומצה.

חומצה בוטירית ($\text{HC}_4\text{H}_7\text{O}_2$) בריכוז של 0.250 M נבדקה ונמצא $\text{pH} = 2.72$.

חשבו את קבוע הפירוק של החומצה K_a .

התגובה



הריכוזים במהלך התגובה בגלל שמדובר בחומצה חלשה אנחנו לא יודעים מה הכמות המדויקת שהתפרקה - נסמן אותה ב- x . תשומת הלב שאותה כמות שהתפרקה תהיה גם הכמות של יוני ה- H_3O^+ שנוצרו, כלומר, שתכף נחשב את הכמות הזאת מתוך הנתון על ה-pH.

	$\text{HC}_4\text{H}_7\text{O}_2$	H_2O	$\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2^-$	H_3O^+
Initial Concentration (M)	M 0.250	0	0	0
Change	\$M -x\$	$M+x$	$M+x$	$M+x$
Equilibrium Concentration (M)	$M(0.250 - x)$	Mx	Mx	Mx

הערה: בספר קוראים לפעמים לפורמט שמוצג בטבלה הזו ICE - Initial, Change, Equilibrium.

חישוב $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ה-pH שניתן הוא 2.72, נשתמש בזה כדי לחשב את ריכוז $[\text{H}_3\text{O}^+]$:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

$$\text{pH} = 2.72 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2.72} \approx 1.9 \times 10^{-3} \text{ M}$$

לכן, $x = 1.9 \times 10^{-3}$.

חישוב K_a כעת נשתמש ב- K_a :

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2^-]}{[\text{HC}_4\text{H}_7\text{O}_2]}$$

$$K_a = \frac{x \cdot x}{0.250 - x}$$

נציב את $x = 1.9 \times 10^{-3}$:

$$K_a = \frac{(1.9 \times 10^{-3})^2}{0.250 - 1.9 \times 10^{-3}}$$

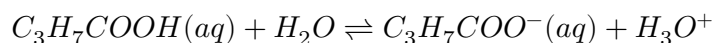
$$K_a \approx \frac{3.61 \times 10^{-6}}{0.248} \approx 1.5 \times 10^{-5}$$

הזנחת השפעת המים מכיוון ש- $K_w \ll K_a$, הזנחת השפעת המים מוצדקת. קבוע הפירוק של המים ($K_w = 10^{-14}$) הוא בסדרי גודל קטנים משמעותית מ- $K_a = 10^{-5}$.

תשובה סופית K_a עבור בוטיריק אסיד הוא 1.5×10^{-5} .

שאלה 3

חומצה בוטירית (butyric) היא חומצה מונו-פרוטית בעלת הנוסחה הבאה $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ ובעלת קבוע פירוק



$$K_a = 1.51 \times 10^{-5}$$

מבצעים טיטרציה ל-35 מיליליטר של חומצה בוטירית בריכוז 0.5M עם תמיסה של 0.2M KOH.

1. חשב ריכוז יוני H^+ בתמיסת החומצה המקורית וחשב את ערך pH של התמיסה.
2. חשב את ערך pH לאחר הוספה של 10 מיליליטר בסיס KOH .
3. חשב את נפח התמיסה של KOH הדרוש להגיב לנקודה האקוולנטית בטיטרציה.
4. חשב את ערך pH בנקודה האקוולנטית של הטיטרציה.

שאלה 3 - פתרון מלא

נתונים:

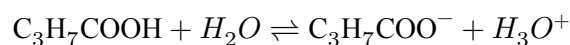
- חומצה בוטירית (C_3H_7COOH) היא חומצה חלשה.
- קבוע החומצה:

$$K_a = 1.51 \times 10^{-5}$$

- ריכוז החומצה ההתחלתי: **0.5M**
- נפח תמיסת החומצה: **35 מ"ל**
- תמיסה טיטרנטית: בסיס **KOH** בריכוז **0.2M**

חלק 1: חישוב ה- pH ההתחלתי

1. טבלת ICE לפירוק החומצה:



רכיב	התחלתי ריכוז	שינוי	בש"מ ריכוז
C_3H_7COOH	0.5	$-x$	$0.5 - x$
$C_3H_7COO^-$	0	$+x$	x
H_3O^+	0	$+x$	x

2. הצבת K_a במשוואה:

$$K_a = \frac{x^2}{0.5 - x}$$

נניח כי x קטן ביחס ל-0.5, ולכן $0.5 - x \approx 0.5$:

$$x^2 = (1.51 \times 10^{-5}) \times 0.5$$

$$x^2 = 7.55 \times 10^{-6}$$

$$x = \sqrt{7.55 \times 10^{-6}} = 2.75 \times 10^{-3} \text{ M}$$

3. חישוב pH :

$$pH = -\log(2.75 \times 10^{-3})$$

$$pH = 2.56$$

חלק 2: חישוב pH לאחר הוספת 10 מ"ל **KOH**

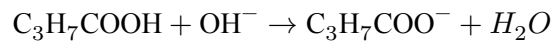
1. חישוב מספר המולים:

- מולים של החומצה ההתחלתית:

$$n_{\text{HA}} = 0.5 \times 0.035 = 0.0175 \text{ מול}$$

- מולים של KOH שנוסף:

$$n_{\text{KOH}} = 0.2 \times 0.010 = 0.002 \text{ מול}$$

2. שינוי בעקבות הנייטרוליזציה:

- חומצה שנותרה:

$$0.0175 - 0.002 = 0.0155 \text{ מול}$$

- בסיס מצומד שנוצר:

$$0.002 \text{ מול}$$

3. חישוב הריכוזים החדשים לאחר שינוי הנפח

- נפח חדש:

$$35 + 10 = 45 \text{ מ"ל} = 0.045 \text{ ליטר}$$

- ריכוז חומצה חלשה (HA):

$$[\text{HA}] = \frac{0.0155}{0.045} = 0.344 \text{ M}$$

- ריכוז הבסיס המצומד (A^-):

$$[\text{A}^-] = \frac{0.002}{0.045} = 0.0444 \text{ M}$$

4. שימוש במשוואת הנדרסון-האסלבך:

$$pH = pKa + \log\left(\frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}\right)$$

- חישוב pKa:

$$pKa = -\log(1.51 \times 10^{-5}) = 4.82$$

- הצבת הערכים:

$$pH = 4.82 + \log\left(\frac{0.0444}{0.344}\right)$$

$$pH = 4.82 + \log(0.129)$$

$$pH = 4.82 - 0.89 = 3.93$$

חלק 3: חישוב נפח KOH בנקודת הש"מ כדי להגיע לנקודת השקילות, מספר מולי KOH חייב להיות שווה למספר מולי החומצה:

$$V_{\text{KOH}} = \frac{0.0175}{0.2} = 0.0875 \text{ ליטר} = 87.5 \text{ מ"ל}$$

חלק 4: חישוב pH בנקודת הש"מ לאחר הנקודה האקוולנטית, החומצה המחלשה נצרכה לחלוטין, והתמיסה מכילה רק את הבסיס המצומד ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-$), המתפקד כבסיס חלש.

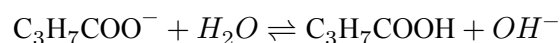
1. חישוב ריכוז הבסיס המצומד:

$$[\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-] = \frac{0.0175}{(35 + 87.5)} = \frac{0.0175}{0.1225} = 0.143 \text{ M}$$

2. חישוב K_b של הבסיס המצומד:

$$K_b = \frac{10^{-14}}{1.51 \times 10^{-5}} = 6.62 \times 10^{-10}$$

3. טבלת ICE לבסיס $\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-$:



$$K_b = \frac{x^2}{0.143}$$

$$x^2 = (6.62 \times 10^{-10}) \times 0.143$$

$$x = \sqrt{9.47 \times 10^{-11}} = 9.73 \times 10^{-6} \text{ M}$$

4. חישוב pOH ו-pH:

$$pOH = -\log(9.73 \times 10^{-6}) = 5.01$$

$$pH = 14 - 5.01 = 8.99$$

סיכום תשובות סופיות:

1. pH לפני הטיטרציה: 2.56
2. pH לאחר 10 מ"ל KOH: 3.93
3. נפח KOH בנקודת הש"מ: 87.5 מ"ל
4. pH בנקודת הש"מ: 8.99