

دستور کار
آزمایشگاه شیمی ۱

موسسه آموزش عالی شهاب دانش

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱. ایمنی در آزمایشگاه..... ۲
- ۲-۱. مقررات آزمایشگاه..... ۵
- ۳-۱. علامت‌ها و هشدارها..... ۶
- ۴-۱. روش تهیه گزارش کار..... ۷
- ۵-۱. آشنایی با لوازم آزمایشگاهی..... ۷

فصل دوم: تهیه محلول با غلظت معین..... ۱۵

- ۱-۲. تهیه محلول رقیق از محلول غلیظ..... ۱۶
- ۲-۲. تهیه محلول از جامد..... ۱۷

فصل سوم: تعیین گرمای واکنش..... ۱۹

- ۱-۳. تعیین گرمای واکنش اسید و باز..... ۱۹
- ۲-۳. تعیین گرمای مولی انحلال..... ۲۱

فصل چهارم: تعیین وزن اتمی منیزیم..... ۲۳

فصل پنجم: قانون بقای جرم..... ۲۶

فصل ششم: تیتراسیون اسید-باز..... ۲۹

فصل هفتم: تیتراسیون اکسایش-کاهش..... ۳۲

فصل هشتم: تعیین سختی آب..... ۳۴

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- ایمنی در آزمایشگاه

تمامی افراد در آزمایشگاه برای حفظ سلامتی خود و دیگران موظف به رعایت اصول ایمنی هستند. موارد مهم زیر را هنگام کار در آزمایشگاه همواره به خاطر داشته باشید:

- ۱- از خوردن، نوشیدن و سیگار کشیدن در آزمایشگاه بپرهیزید.
- ۲- استفاده از عینک ایمنی در تمام مدتی که در آزمایشگاه کار می کنید الزامی است.
- ۳- در هنگام حضور در آزمایشگاه هرگز از لنزهای تماسی استفاده نکنید.
- ۴- در آزمایشگاه روپوش آزمایشگاهی و دستکش لاستیکی بپوشید.
- ۵- از کفش های جلو بسته استفاده کنید.
- ۶- هرگز در آزمایشگاه تنها کار نکنید و هیچ آزمایشی را بدون حضور مربی انجام ندهید.
- ۷- هیچ وقت آزمایشی را که قبلاً تأیید نشده انجام ندهید.
- ۸- روی میز کار را از مواد و لوازم غیر ضروری خالی کنید.
- ۹- تمام حوادث را به مسئول آزمایشگاه اطلاع دهید.
- ۱۰- بسیاری از حلال هایی که در آزمایشگاه استفاده می شوند مانند الکل ها، اترها، پترولیوم اتر و غیره بسیار اشتعال پذیر هستند بنابراین این گونه مواد را نباید نزدیک شعله قرار دهید.
- ۱۱- در صورت ایجاد آتش داخل ظروفی مانند بشر یا ارلن، روی آن ها را با یک ظرف شیشه ای مانند شیشه ساعت بپوشانید تا آتش خاموش شود.

- ۱۲- در صورت بروز آتش‌سوزی هرگز از آب برای خاموش کردن آتش استفاده نکنید زیرا آب قادر به حل کردن بسیاری از حلال‌های آلی نمی‌باشد و منجر به گسترش آتش خواهد شد. در این گونه مواقع از کیپسول‌های آتش‌نشانی دی‌اکسید کربن استفاده کنید.
- ۱۳- قبل از قرار دادن لوله‌های شیشه‌ای و یا ترمومتر داخل درپوش‌های پلاستیکی آن‌ها را با گریس چرب نمایید.
- ۱۴- هیچ ماده شیمیایی را بیرون از آزمایشگاه نبرید.
- ۱۵- قبل از استفاده از هر گونه ماده شیمیایی برچسب ایمنی آن را مطالعه نمایید.
- ۱۶- برای برداشتن مواد از اسپاتول یا قاشق‌های چینی، فلزی یا پلاستیکی استفاده کنید و از برداشتن مواد شیمیایی با دست خودداری کنید.
- ۱۷- هنگام توزین، هرگز مواد شیمیایی را مستقیماً بر روی ترازو قرار ندهید.
- ۱۸- از برگرداندن مواد شیمیایی مازاد مصرف، به ظرف اصلی نگهداری ماده بپرهیزید.
- ۱۹- بعد از برداشتن مواد، درب ظرف مخصوص نگهداری ماده را ببندید تا از نفوذ هوا و رطوبت به داخل ظرف ممانعت به عمل آید.
- ۲۰- بعد از استفاده از ترازو و توزین ماده، ترازو را به دقت تمیز نمایید.
- ۲۱- در هنگام استفاده از پیپت هرگز پیپت را به دهان خود ننزید. برای پر کردن پیپت از پوآر استفاده کنید.
- ۲۲- هرگز مواد شیمیایی را مستقیماً بو نکنید. برای این منظور بخار ماده را با دست به سمت بینی خود هدایت کنید.
- ۲۳- به منظور رقیق نمودن اسید، در حالی که مرتب محلول را هم می‌زنید به تدریج اسید را به آب اضافه کنید. از افزودن آب به اسید بپرهیزید.
- ۲۴- از حرارت دادن ظروف شیشه‌ای خالی خودداری کنید زیرا در چنین حالتی ظروف شیشه‌ای ترک می‌خورند.
- ۲۵- به منظور گرم کردن یک مایع داخل لوله آزمایش، هیچ‌گاه بیش از دو سوم حجم لوله آزمایش را پر نکنید. لوله را توسط یک گیره به صورت زاویه‌دار روی حرارت قرار دهید.

- ۲۶- هنگام گرم کردن یک ماده درون ظروف آزمایشگاهی، دهانه ظروف به خصوص لوله آزمایش را به سمت خود یا دیگران نگیرید.
- ۲۷- بشر و ارلن را به طور مستقیم حرارت ندهید. برای این منظور از توری نسوز استفاده کنید.
- ۲۸- ظروف شیشه‌ای داغ را زیر شیر آب سرد قرار ندهید.
- ۲۹- مواد شیمیایی را داخل ظروف سر بسته حرارت ندهید.
- ۳۰- هیچ‌گاه از وسایل شیشه‌ای ترک خورده استفاده نکنید.
- ۳۱- در صورت تماس محلول اسیدی یا بازی با پوست و یا چشم‌هایتان، ناحیه آلوده شده را با آب فراوان شستشو دهید.
- ۳۲- ظروف مواد شیمیایی که به شدت با یکدیگر وارد واکنش می‌شوند را کنار یکدیگر قرار ندهید.
- ۳۳- مواد حساس به نور مانند برم را در معرض نور قرار ندهید.
- ۳۴- مواد شیمیایی سوزاننده، اسیدها و بازها را زیر هود استفاده کنید.
- ۳۵- در صورت ریختن اسید، باز و یا مواد خورنده مری را آگاه کنید و سطح آلوده شده را با مقادیر فراوان آب بشویید و سپس از سدیم بی‌کربنات و یا استیک اسید رقیق برای خنثی کردن و تمیز کردن استفاده کنید.
- ۳۶- به علت واکنش شدید و گرمازای اسید و باز غلیظ، آن‌ها را با یکدیگر مخلوط نکنید.
- ۳۷- بخارات جیوه موجود در ترمومتر سمی است بنابراین هنگام شکستن ترمومتر جیوه‌ای، پنجره‌ها را باز کنید و آزمایشگاه را به مدت ۱۵ دقیقه ترک کنید.

۱-۲- مقررات آزمایشگاه

- ۱- حضور به موقع در آزمایشگاه الزامی است.
- ۲- هر جلسه پیش از ورود به آزمایشگاه دستور کار مربوط به آزمایش مربوطه را مطالعه کنید.
- ۳- بدون اجازه مربی از آزمایشگاه خارج نشوید.
- ۴- گزارش کار هر آزمایش در جلسه بعد از انجام آزمایش تحویل گرفته می‌شود.
- ۵- در آزمایشگاه شوخی کردن و هر گونه رفتار غیر مسئولانه ممنوع است.
- ۶- تمامی ظروف بعد از استفاده فوراً باید شسته شوند.
- ۷- تمامی دانشجویان باید از محل کیسول‌های آتش‌نشانی، جعبه کمک‌های اولیه، کلید برق و دوش‌های اضطراری مطلع باشند.
- ۸- کاغذ صافی، چوب کبریت و رسوب‌ها را داخل دستشویی و فاضلاب نریزید.
- ۹- پس از پایان هر آزمایش، دانشجویان باید میز کار را کاملاً مرتب، تمیز و خشک نمایند.
- ۱۰- هنگام ترک آزمایشگاه تمام وسایل برقی را از پریز جدا کنید و از بسته بودن شیرهای گاز اطمینان حاصل کنید.

۱-۳- علامت‌ها و هشدارها

شناخت علائم هشدار دهنده قبل از استفاده از مواد شیمیایی، امری ضروری است. این علائم بین المللی هستند.



اکسنده



زیان‌آور



فوق العاده آتش‌گیر



خورنده



سمی



تحریک کننده



زیان‌آور برای محیط زیست



قابل انفجار

۱-۴- چگونگی تهیه گزارش کار

بر روی صفحه اول گزارش کار باید نام آزمایش، نام تهیه کننده گزارش کار، نام استاد مربوطه و نوبت حضور در آزمایشگاه درج شود.

بخش‌های اصلی گزارش کار شامل موارد زیر است:

۱- نام آزمایش

۲- هدف آزمایش

۳- تئوری آزمایش

۴- وسایل و مواد مورد نیاز

۵- شرح کار آزمایش

۶- محاسبات و نتیجه‌گیری

۷- پاسخ به سوالات مربوطه

۱-۵- آشنایی با لوازم آزمایشگاهی

متداولترین لوازم آزمایشگاهی و کاربرد آن‌ها به صورت زیر است:

۱- لوله آزمایش: یکی از پرکاربردترین لوازم آزمایشگاه شیمی است و برای انجام بعضی آزمایش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای گرم کردن لوله آزمایش توسط شعله باید از "گیره لوله آزمایش" استفاده کرد. برای نگهداری آن از "جا لوله‌ای" استفاده می‌شود.



۲- بشر: از بشر استفاده‌های متنوعی می‌شود از جمله حرارت دادن مایعات و محلول‌ها، سنجش حجمی و برداشتن حجم معین از محلول‌ها و مایعات.



۳- ارلن مایر: برای حرارت دادن مایعات و محلول‌ها و بیشتر برای سنجش حجمی (تیتراسیون) به کار می‌رود.



۴- بالن ته گرد: برای گرم کردن محلول‌ها و مایعات به ویژه در تقطیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



۵- بالن حجمی (بالن ژوژه): برای به حجم رساندن مایعات و تهیه محلول‌هایی با غلظت مشخص به کار می‌رود. بالن‌های حجمی دارای حجم‌های مختلفی هستند که فقط یک حجم ثابت را میتوان با هر کدام از آنها برداشت. خط نشانه‌ای که روی بالن قرار دارد نشان دهنده حد محلولی است که باید درون آن ریخته شود.



۶- بوته چینی: وسیله‌ای از جنس چینی است و برای حرارت دادن مواد جامد در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.



۷- برس لوله: برای شستن لوله آزمایش مورد استفاده قرار می گیرد.



۸- چراغ گاز (بونزن): وسیله گازسوزی است که برای گرما دادن به مواد در آزمایشگاه به کار می رود.



۹- بورت: لوله شیشه ای مدرجی است که کاربرد ویژه آن در سنجش های حجمی است. برای خواندن درجه بورت باید یک تکه کاغذ کدر در پشت قسمتی از بورت که سطح مایع در آن قرار دارد گذاشته شده و به طور عمودی درجه منطبق بر سطح پایینی محلول خوانده شود.



۱۰- پیپت مدرج و پیپت حبابدار: وسیله‌ای است از جنس شیشه که برای برداشتن حجم معینی از مایعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیپت حبابدار دارای یک حجم واحد است اما پیپت مدرج درجه‌بندی شده و برای برداشتن مقدار دلخواه مایع یا محلول مورد استفاده قرار می‌گیرد.



۱۱- استوانه مدرج (مزور): وسیله‌ای شیشه‌ای است که برای برداشتن حجم معینی از مایعات و محلول‌ها به کار می‌رود.



۱۲- قیف: برای صاف کردن و انتقال مایع از ظرفی به ظرف دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



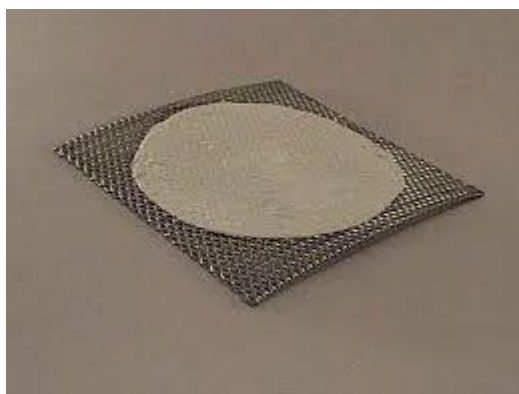
۱۳- پیست (آبفشان): برای نگه داشتن محلول‌ها و مایعات مانند آب مقطر و ریختن مقادیر کمی از آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.



۱۴- سه پایه فلزی: وسیله فلزی است که برای نگه داشتن وسایل هنگام حرارت دادن توسط چراغ گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد.



۱۵- توری نسوز: وسیله ای از جنس فلز است که برای جلوگیری از تاثیر مستقیم شعله بر روی وسیله یا ماده ای که باید گرم شود به کار می رود. توری نسوز بر روی سه پایه قرار می گیرد.



۱۶- قاشقک (اسپاتول): وسیله ای فلزی است که برای برداشتن جامدات مورد استفاده قرار می گیرد.



۱۷- پوآر: از پوآر برای مکش استفاده می‌شود. به وسیله پوآر می‌توان محلول یا مایع را وارد پیپیت نمود.



۱۸- دکانتور (قیف جداکننده): برای جدا کردن دو مایع امتزاج ناپذیر به کار می‌رود.



۱۹- شیشه ساعت: به منظور توزین و همچنین تبخیر محلول‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.



فصل ۲

تهیه محلول با غلظت معین (محلول سازی):

مقدار ماده حل شده در مقدار مشخصی حلال یا محلول را غلظت می گویند. غلظت یک محلول به روش های مختلف بیان می شود:

۱- غلظت معمولی (C): مقدار گرم جسم حل شده در یک لیتر از محلول

۲- غلظت مولی یا مولاریته (C_M): تعداد مول حل شده در یک لیتر محلول

بدین ترتیب محلول ۴M سولفوریک اسید، از حل نمودن ۴ مول سولفوریک اسید در آب و رساندن حجم محلول به یک لیتر به دست می آید.

۳- مولالیه (m): تعداد مول جسم حل شده در ۱۰۰۰ گرم حلال

بدین ترتیب محلول ۴m سولفوریک اسید، از حل نمودن ۴ مول سولفوریک اسید در ۱۰۰۰ گرم آب به دست می آید.

۴- نرمالیه (N): تعداد اکی والان گرم ماده حل شده در یک لیتر محلول

اکی والان گرم: یک اکی والان گرم جسم حل شده برابر با مقداری از جسم است که در واکنش شیمیایی به تعداد عدد آووگادرو الکترون از دست می دهد، می گیرد و یا به اشتراک می گذارد.

$$E = \frac{M}{n}$$

در این معادله M وزن ملکولی جسم و n بسته به نوع واکنش، تعداد H^+ اسید، OH^- باز، مجموع ظرفیت فلز در یک نمک و یا برابر با تعداد الکترون مبادله شده برای مواد احیا کننده و یا اکسید کننده است.

بدین ترتیب در یک واکنش خنثی شدن، اکی والان گرم سولفوریک اسید برابر با نصف وزن ملکولی آن است. بنابراین اکی والان گرم یک مول سولفوریک اسید برابر با ۴۹ است:

$$E = \frac{98}{2} = 49$$

نرمالیده یک محلول مضرب صحیحی از مولاریته آن است:

$$N = nC_m$$

در نتیجه محلول یک مولار سولفوریک اسید یک محلول ۲ نرمال است:

$$N = 2 \times 1 = 2$$

۵- درصد وزنی: مقدار گرم جسم حل شده در ۱۰۰ گرم محلول

به عنوان مثال محلول ۱۰٪ سدیم هیدروکسید، شامل ۱۰ گرم سدیم هیدروکسید و ۹۰ گرم آب می باشد.

۶- درصد حجمی: تعداد میلی لیتر جسم حل شده در ۱۰۰ میلی لیتر محلول

به عنوان مثال محلول ۹۰٪ الکلی، شامل ۹۰ میلی لیتر الکل و ۱۰ میلی لیتر آب است.

۲-۱- تهیه محلول رقیق از محلول غلیظ:

به منظور تهیه محلول رقیق از یک محلول غلیظ باید به مشخصات روی ظرف اصلی محلول توجه نمود. سپس با

استفاده از چگالی (d) و درصد وزنی (a) محلول غلیظ، نرمالیده آن را به دست می آوریم:

$$N = \frac{10ad}{E}$$

برای محاسبه حجم مورد نیاز از محلول غلیظ از فرمول زیر استفاده می کنیم:

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

به عنوان مثال برای تهیه ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۲ نرمال نیتریک اسید به روش زیر عمل می کنیم:

$$d=1.42 \quad a=70 \quad M=63$$

$$N = \frac{10 \times 70 \times 1.42}{63} = 15.7$$

$$100 \times 2 = 15.7 \times V_2 \quad V_2 = 12.7 \text{ ml}$$

بنابراین باید ۱۲/۷ میلی لیتر نیتریک اسید غلیظ را با آب به حجم ۱۰۰ میلی لیتر برسانیم.

برای رقیق کردن اسید غلیظ، داخل یک بالن ژوژه تمیز کمی آب مقطر ریخته و حجم اسید برداشته شده را کم کم به آن اضافه می‌کنیم. سپس با آب مقطر محلول را تا خط نشانه به حجم می‌رسانیم.

۲-۲- تهیه محلول از جامد:

برای تهیه محلول با غلظت مشخص ابتدا باید مقدار ماده مورد نیاز را محاسبه کنیم:

$$m = C_m \times V \times M$$

مقدار ماده بر حسب گرم = m

حجم بر حسب لیتر = V

مولاریته محلول مورد نظر = C_m

جرم مولکولی ماده = M

به عنوان مثال برای تهیه ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار ابتدا مقدار گرم سدیم هیدروکسید مورد نیاز را به دست می‌آوریم:

$$m = 0.1 \times 0.25 \times 40$$

$$m = 1 \text{ g}$$

بنابراین یک گرم از سدیم هیدروکسید را توزین نموده و داخل بشر در حداقل آب حل می‌کنیم. سپس به بالن ژوژه ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل نموده و با آب تا خط نشانه به حجم می‌رسانیم.

روش آزمایش:

آزمایش ۱: تهیه ۲۵۰ میلی‌لیتر محلول سولفوریک اسید ۰/۱ مولار:

ابتدا از روی برچسب ظرف نگهداری سولفوریک اسید مشخصات آن را یادداشت نمایید. با استفاده از مشخصات و روابط گفته شده ابتدا نرمالیه و سپس مولاریته اسید را به دست آورید. با استفاده از فرمول زیر مقدار حجم لازم اسید را محاسبه کنید:

$$V_1 \times C_{m_1} = V_2 \times C_{m_2}$$

سپس یک بالن ژوژه ۲۵۰ میلی لیتری را برداشته و با آب شستشو داده و با آب مقطر کر دهید. داخل بالن کمی آب بریزید. با استفاده از پیپت و پوآر، حجم محاسبه شده اسید را برداشته و کم کم داخل بالن ژوژه بریزید. بالن را خوب تکان دهید و سپس با آب مقطر محلول را تا خط نشانه به حجم برسانید. مجدداً بالن را خوب تکان دهید تا محلول یکنواخت شود.

آزمایش ۲: تهیه ۲۵۰ میلی لیتر محلول سود ۱ نرمال:

برای تهیه ۲۵۰ میلی لیتر محلول سود ۱ نرمال، ابتدا با استفاده از روابط گفته شده مقدار مورد نیاز سود را محاسبه کنید. مقدار سدیم هیدروکسید محاسبه شده را داخل شیشه ساعت و با ترازو توزین کنید و آن را داخل یک بشر تمیز حاوی مقداری آب مقطر بریزید. سدیم هیدروکسید را در آب حل کنید. سپس یک بالن ژوژه ۲۵۰ میلی لیتری برداشته و با آب شستشو داده و با آب مقطر کر دهید. سود حل شده را داخل بالن ژوژه بریزید. تا خط نشانه آب مقطر اضافه کنید و محلول را به حجم برسانید. بالن را خوب تکان دهید تا محلول یکنواخت شود.

پرسش:

- ۱- ۱۶ گرم سدیم هیدروکسید به حجم ۲۵۰ میلی لیتر رسانده می شود مولاریته محلول چقدر است؟
- ۲- حجم اسید غلیظ لازم برای تهیه ۱۰۰ میلی لیتر هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال چقدر است؟ ($d=1/3$ و $a=0.37$)
- ۳- برای تهیه ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۰/۲ مولار سدیم کربنات، چه مقدار سدیم کربنات لازم است؟

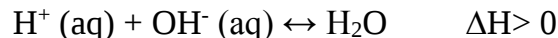
فصل ۳

تعیین گرمای واکنش

۳-۱- تعیین گرمای واکنش اسید و باز (گرمای مولی خنثی شدن اسید و باز):

غالباً انجام واکنش‌های شیمیایی با تغییر انرژی همراه است. به عبارتی واکنش‌های شیمیایی معمولاً گرماده و یا گرماگیر هستند. برای اندازه‌گیری گرمای واکنش می‌توان مقداری از واکنش دهنده‌ها را در شرایط مناسب برهم اثر داد و گرمای حاصل از واکنش را به طور مستقیم اندازه‌گیری نمود. برای این منظور از دستگاهی به نام گرماسنج استفاده می‌شود.

اسید و باز قوی در محلول کاملاً یونیزه می‌شوند. اگر محلول رقیق یک اسید قوی یک ظرفیتی را روی محلول رقیق یک باز قوی اضافه کنیم یون‌های H^+ و OH^- حاصل از تفکیک آن‌ها با هم وارد واکنش می‌شوند:



با توجه به واکنش فوق، گرمای خنثی شدن یک مول از اسید و یک مول از باز قوی در حالت محلول مستقل از نوع اسید و باز بوده و برابر با گرمای تشکیل یک مول آب است. در این آزمایش گرمای یک واکنش اندازه‌گیری می‌شود.

روش آزمایش:

در داخل یک بشر بزرگ مقداری خرده کاغذ بریزید. توسط یک استوانه مدرج، ۳۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۲ نرمال برداشته و داخل یک لوله آزمایش بریزید. داخل لوله آزمایش دیگری ۳۵ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۲ نرمال بریزید. لوله‌های آزمایش را به طور عمودی طوری داخل بشر قرار دهید که با دیواره و ته بشر تماس نداشته

باشند. مدتی صبر کنید تا محلول داخل هر دو لوله آزمایش هم دما شوند (یا حداکثر ۵/۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف داشته باشند). هنگامی که دو محلول هم دما شدند دماسنج را در لوله آزمایش حاوی سدیم هیدروکسید قرار داده و با دقت دمای آن را اندازه بگیرید. سپس محلول اسیدی را سریع به محلول سدیم هیدروکسید اضافه کنید. این مخلوط را با دماسنج هم زده و با دقت دما را هنگام مخلوط نمودن دو محلول بخوانید. هنگامی که دما به بیشترین مقدار ممکن رسید دما را یادداشت کنید.

محاسبات:

$$1- \Delta t = t_2 - t_1 \quad \text{تغییر دما را به دست آورید:}$$

۲- گرمای حاصل از واکنش خنثی شدن علاوه بر محلول، توسط لوله آزمایش، دماسنج و سایر محیط‌های اطراف جذب می‌شود. برای سادگی کار می‌توان فرض کرد که گرمای واکنش تماماً توسط محلول جذب شده است. گرمای ویژه محلول را همان گرمای ویژه آب یعنی یک کالری بر گرم در نظر می‌گیریم. با توجه به رابطه زیر اگر $d_{\text{آب}} = 1$

$$d = \frac{m}{V} \quad \text{فرض شود آن گاه حجم برابر با وزن می‌شود:}$$

$$\text{در نتیجه:} \quad m = V_{\text{محلول بازی}} + V_{\text{محلول اسیدی}}$$

$$3- q = mc\Delta t \quad \text{گرمای آزاد شده طی واکنش خنثی شدن را محاسبه کنید:}$$

۴- گرمای واکنشی که از طریق رابطه فوق به دست می‌آید بر حسب کالری است. برای به دست آوردن گرمای مولار این واکنش، باید گرما بر حسب کیلوکالری بر مول (یا کالری بر میلی‌مول) محاسبه شود. برای این منظور ابتدا تعداد میلی‌مول اسید یا باز را حساب کنید (تعداد میلی‌مول اسید و باز برابر است):

$$\text{مولاریته محلول اسیدی} \times \text{حجم محلول اسیدی (میلی‌لیتر)} = \text{تعداد میلی‌مول اسید}$$

از تقسیم گرمای واکنش بر تعداد میلی‌مول اسید یا باز گرمای مولی را به دست آورید.

پرسش:

۱- معادله واکنش را بنویسید.

۲- چه یون‌هایی در محلول موجود است؟

۲-۳- تعیین گرمای مولی انحلال

انحلال ترکیبات یونی در آب معمولاً با تغییر دما همراه است. تغییر آنتالپی مربوط به حل شدن یک مول حل‌شونده در مقدار معینی حلال، در دمای مشخص را گرمای انحلال می‌نامند. فرایند حل شدن جسم جامد یونی در آب شامل مراحل زیر است:

۱- شکستن شبکه بلور که گرماگیر است. زیرا برای غلبه بر نیروهای جاذبه بین ذرات جسم حل‌شونده انرژی لازم است.

۲- جدا شدن مولکول‌های آب از هم که گرماگیر است. زیرا برای شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی بین ملکول‌های آب باید انرژی صرف شود.

۳- آب‌پوشی یون‌های ماده حل‌شونده که این مرحله گرمازا است. مجموع این انرژی‌ها گرمای انحلال را تشکیل می‌دهند. اگر در مجموع فرایند انحلال، گرماگیر باشد گرمای انحلال را به صورت مثبت و اگر گرمازا باشد گرمای انحلال را به صورت منفی گزارش می‌کنند.

روش آزمایش:

در یک ارلن که وزن آن را یادداشت نموده‌اید، ۵۰ میلی‌لیتر آب ریخته و بعد از ۵ دقیقه دمای آن را اندازه بگیرید. سپس ۲ گرم سدیم هیدروکسید را توزین نموده و به آن اضافه کنید. ارلن را به آرامی تکان دهید تا هیدروکسید سدیم در آب حل شود. هنگامی که دما به مدت ۲-۱ دقیقه ثابت ماند آن را یادداشت کنید. گرمای مولی انحلال سدیم هیدروکسید را محاسبه کنید.

ظرفیت گرمایی ویژه شیشه: $0.12 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

ظرفیت گرمایی محلول: $1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

پرسش:

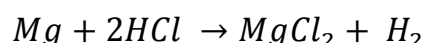
۱- چرا با حل شدن سدیم هیدروکسید در آب دما افزایش می‌یابد؟

۲- چرا حل شدن برخی از مواد در آب باعث افزایش دما و حل شدن برخی دیگر باعث کاهش دما می‌شود؟

فصل ۴

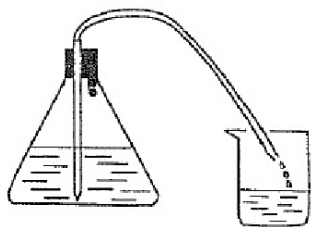
تعیین وزن اتمی منیزیم

یکی از روش‌های به دست آوردن جرم اتمی و جرم ملکولی عناصر و ملکول‌ها واکنش‌های شیمیایی است. وزن اتمی عنصری مانند منیزیم را می‌توان از واکنش مقدار مشخصی از منیزیم با هیدروکلریک اسید و اندازه‌گیری حجم گاز هیدروژن آزاد شده به دست آورد:



روش آزمایش:

ابتدا یک تشتک را پر از آب نمایید. استوانه مدرج را نیز پر از آب نموده و به صورت وارونه داخل تشتک قرار دهید. دقت کنید که حباب هوا داخل استوانه مدرج نباشد. فلز منیزیم را با یک کاغذ سنباده و یا توسط هیدروکلریک اسید رقیق ۰/۰۱ نرمال با پنبه تمیز کنید. نوار منیزیم را وزن نموده و آن را با پیچاندن به دور یک مداد به صورت مارپیچی در آورید. یک سوم حجم ارلن خلاء را با آب پر کنید و ۲۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید غلیظ به آن اضافه کنید. نوار منیزیم را به درب پلاستیکی ارلن خلاء آویزان نموده و آن را محکم بر روی ارلن قرار دهید. لوله رابط را زیر استوانه مدرج قرار دهید. حجم آب داخل استوانه را یادداشت نمایید. با حرکت دادن ارلن نوار منیزیم داخل محلول اسید می‌افتد. در اثر واکنش اسید و نوار منیزیم گاز هیدروژن آزاد شده و از طریق لوله رابط به سمت استوانه مدرج هدایت می‌شود. با ورود گاز هیدروژن به استوانه مدرج سطح آب در استوانه پایین می‌آید. هنگامی که دیگر حباب‌های گاز دیده نشد حجم جدید استوانه مدرج را یادداشت نموده و اختلاف حجم را به دست آورید. اختلاف حجم برابر با حجم هیدروژن تولید شده است.



با توجه به این که حجم گاز هیدروژن را در شرایط غیرمتعارفی به دست آورده‌اید با استفاده از رابطه زیر حجم گاز را در شرایط متعارفی محاسبه کنید:

$$P_{H_2} \times V_{H_2} = P^{\circ}_{H_2} \times V^{\circ}_{H_2} \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

$P^{\circ}_{H_2}$ فشار گاز هیدروژن در شرایط متعارفی ۷۶۰ میلی‌متر جیوه

$V^{\circ}_{H_2}$ حجم گاز هیدروژن در شرایط متعارفی

P_{H_2} فشار گاز هیدروژن در شرایط آزمایشگاه

V_{H_2} حجم گاز هیدروژن در شرایط آزمایشگاه

فشار گاز هیدروژن در شرایط آزمایشگاه را از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$P = P_{H_2} + P_{H_2O} + \frac{h}{13.6}$$

P فشار محیط آزمایشگاه است که باید از روی دستگاه فشارسنج موجود در آزمایشگاه خوانده شود.

P_{H_2O} فشار بخار آب که در هر دمایی مقداری ثابت است. با استفاده از جداول موجود فشار را در دمای آزمایشگاه به دست آورید.

h اختلاف سطح آب داخل استوانه مدرج و سطح آب داخل تشتک بعد از حل شدن منیزیم در اسید است (بر حسب میلی‌متر):

الف) اگر اختلاف سطح وجود نداشته باشد آن‌گاه: $h=0$

ب) اگر سطح آب استوانه مدرج بالاتر باشد آن‌گاه: $h>0$

ج) اگر سطح آب استوانه مدرج پایین‌تر باشد آن‌گاه: $h<0$

پس از انجام مراحل فوق و به دست آوردن حجم گاز هیدروژن در شرایط استاندارد، آن حجم را بر ۲۲۴۰۰ میلی لیتر تقسیم نموده و تعداد مول های هیدروژن را محاسبه کنید. سپس با توجه به وزن اولیه منیزیم، وزن اتمی آن را به دست آورید.

فصل ۵

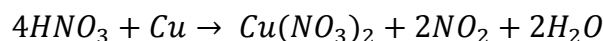
قانون بقای جرم

در یک واکنش شیمیایی جرم همیشه ثابت بوده و هرگز ماده‌ای به خودی خود ایجاد نشده و یا از بین نمی‌رود. بنابراین جرم محصولات یک واکنش شیمیایی معادل با جرم مواد اولیه است. در این آزمایش وزن مشخصی از مس برداشته شده و طی واکنش‌های متوالی، ترکیبات مختلفی از آن تهیه می‌شود و در نهایت مس مجدداً به دست می‌آید که وزن آن معادل وزن مس اولیه است.

روش آزمایش:

مرحله اول: تهیه مس نیترات

مقدار مشخصی از پودر مس را داخل یک ارلن بریزید. زیر هود ۶ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۶ نرمال اضافه کنید و با شعله‌ی کم، حرارت دهید:

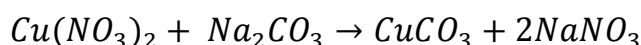


محلول مس نیترات حاصل چه رنگی است؟

مرحله دوم: تهیه مس کربنات

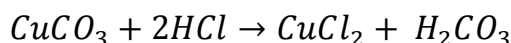
به محلول حاصل قطره قطره سدیم هیدروکسید ۲ نرمال اضافه کنید (چرا؟ واکنش انجام شده را بنویسید). اگر رسوبی تشکیل شد با هم زدن آرام محلول، رسوب را حل کنید. افزودن محلول سدیم هیدروکسید را تا جایی ادامه دهید که رسوب کم تشکیل شده دیگر حل نشود. سپس رسوب تشکیل شده را با قطره قطره افزودن نیتریک اسید ۲ نرمال حل کنید (واکنش مربوطه را بنویسید). محلول سیر شده‌ای از سدیم کربنات تهیه نموده و آن را قطره قطره به محلول اضافه کنید. با تکان دادن ارلن محلول را به هم بزنید. افزودن سدیم کربنات را تا جایی ادامه دهید که دیگر رسوب تشکیل شده حل نشود. سپس ۱۰ میلی‌لیتر دیگر سدیم کربنات اشباع به محلول افزوده و در آن

تا نیمه آب بریزید. هنگامی که رسوب کاملاً ته‌نشین شد بدون هم‌زدن محلول، یک قطره محلول سدیم کربنات به آن اضافه کنید. اگر در مسیر حرکت قطره رسوبی تشکیل نشد یا محلول کدر نشد نشان دهنده این موضوع است که واکنش کامل است. اگر رسوب تشکیل شد ۱ میلی‌لیتر دیگر سدیم کربنات بریزید و بعد از ته‌نشین شدن رسوب آزمایش را مجدداً تکرار کنید. سپس رسوب حاصل را با صاف کردن از محلول جدا کنید و با آب مقطر شستشو دهید. رسوب حاصل چه رنگی است؟



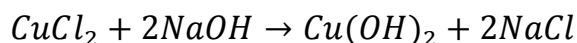
مرحله سوم: تهیه مس کلرید

در این مرحله با افزودن هیدروکلریک اسید، مس کربنات به مس کلرید تبدیل می‌شود. برای این منظور رسوب حاصل از مرحله قبل را به یک ارلن منتقل کنید و قطره قطره به آن هیدروکلریک اسید ۰/۵ نرمال اضافه کنید تا رسوب حل شود. سپس تا زمانی که دیگر گاز خارج نشود محلول را به آرامی حرارت دهید. محلول حاصل چه رنگی است؟

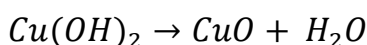


مرحله چهارم: تهیه مس هیدروکسید و مس اکسید

به محلول تهیه شده در مرحله قبل بعد از سرد شدن، قطره قطره ۶ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۶ نرمال اضافه کنید و هم‌زمان ارلن را تکان دهید تا محلول هم زده شود. سپس ارلن را تا نیمه پر از آب کنید و اجازه دهید تا رسوب حاصل ته‌نشین شود. کامل شدن واکنش را مانند مرحله دوم آزمایش کنید. رسوب حاصل چه رنگی است؟

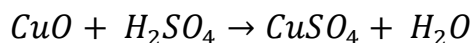


سپس ارلن را کمی حرارت دهید تا محلول بجوشد و تغییر رنگ را یادداشت کنید. وقتی رنگ محلول ثابت ماند منتظر بمانید تا رسوب ته‌نشین شود. محلول روی رسوب را به آرامی خالی کنید. دوباره آب مقطر به رسوب اضافه کنید و مجدداً ارلن را حرارت دهید و محلول را خالی کنید. این عمل را چند بار تکرار کنید. هنگامی که رسوب سیاه رنگ مس اکسید به دست آمد شعله را خاموش کنید تا محلول سرد شود. سپس مخلوط را توسط کاغذ صافی صاف کنید.



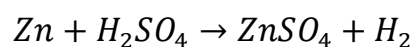
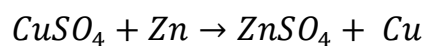
مرحله پنجم: تهیه مس سولفات

رسوب حاصل از مرحله قبل را به یک ارلن منتقل کنید و به آن ۸ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۶ نرمال و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه نمایید. محتویات ارلن را حرارت دهید تا تمام رسوب حل شود. محلول حاصل چه رنگی است؟



مرحله ششم: تهیه مس اولیه

به محلول حاصل از مرحله قبل حدود یک گرم پودر روی اضافه کنید. ارلن را به آرامی تکان دهید تا رنگ محلول از بین برود. اگر پودر روی در محلول باقی ماند کمی سولفوریک اسید رقیق اضافه کنید و با شعله به آرامی حرارت دهید تا بجوشد. هنگامی که محلول کاملاً بی‌رنگ شد رسوب را با کاغذ صافی صاف کنید. در مرحله بعد رسوب را با آب مقطر و سپس با الکل بشوئید. رسوب را در اتو (دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) خشک نموده و سپس توزین کنید.



فصل ۶

تیتراسیون اسید-باز

تیتراسیون روشی برای تعیین غلظت یک محلول است. آنالیت (تیترو شونده) محلولی است که غلظت آن نامعلوم است. تیترو کننده یا تیترانت محلولی است که غلظت آن مشخص است و با آنالیت وارد واکنش می‌شود. معمولاً تیترانت از طریق یک بورت به حجم معینی از آنالیت افزوده می‌شود تا واکنش بین آن‌ها کامل شود. سپس با استفاده از حجم تیترانت استفاده شده می‌توان غلظت آنالیت را مشخص نمود.

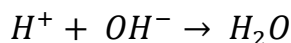


تیتراسیون اسید-باز معمولاً برای تعیین مقدار اسید یا باز موجود در یک محلول به کار می‌رود. طی تیتراسیون اسید-باز، pH محلول تغییر می‌کند بنابراین برای بررسی پیشرفت تیتراسیون از تغییر pH می‌توان استفاده نمود. شناساگرهای اسید و باز، ترکیبات شیمیایی هستند که در محیط اسیدی و یا بازی رنگ مختلفی دارند بنابراین برای تشخیص نقطه پایانی تیتراسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع نقطه تغییر رنگ شناساگر "نقطه پایان" نام دارد. در جدول ۱ برخی از شناساگرها و محدوده pH تغییر رنگ آن‌ها آورده شده است.

جدول ۱- برخی شناساگرهای تیتراسیون اسید و باز

شناساگر	رنگ	محدوده pH
	محیط بازی	محیط اسیدی
Methyl Orange	زرد	قرمز
Bromocresol Green	آبی	زرد
Methyl Red	قرمز	زرد
Bromothymol Blue	آبی	زرد
Phenol Red	قرمز	زرد
Phenolphthalein	قرمز ارغوانی	بی رنگ

در تیتراسیون اسید- باز هر یک مول H^+ با یک مول OH^- یون هیدروکسید واکنش می‌دهد:



یک اکی‌والان اسید در محلول یک مول پروتون (H^+) و یک اکی‌والان باز در محلول یک مول هیدروکسید (OH^-) تولید می‌کند. از طرفی یک اکی‌والان از هر جسم برابر با یک اکی‌والان از جسم دیگر است. بنابراین اگر نرمالیت دو جسم با هم برابر باشد حجم‌های مساوی از آن دو جسم با هم واکنش می‌دهند:

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$$

نقطه اکی‌والان در تیتراسیون اسید-باز نقطه‌ای است که در آن تعداد اکی‌والان (به عبارتی تعداد مول) اسیدی که وارد واکنش شده با تعداد اکی‌والان باز برابر می‌شود.

روش آزمایش:

آزمایش ۱: تعیین نرمالیت محلول NaOH

۱۰ میلی‌لیتر HCl ۰/۱ نرمال را توسط پی‌پت مدرج برداشته و به یک ارلن تمیز منتقل کنید. دو قطره شناساگر فنل فتالین به آن اضافه کنید. داخل یک بورت کمی آب بریزید و مطمئن شوید که شیر بورت چکه نمی‌کند. سپس ابتدا با آب مقطر و بعد از آن با محلول سود مجهول کر دهید. بورت را به پایه متصل کرده و با محلول سود به حجم برسانید. زیر ارلن کاغذی قرار دهید تا تغییر رنگ را به وضوح ببینید. با دست راست ارلن را تکان دهید

و با دست چپ شیر بورت را باز کنید. افزودن اسید را تا هنگام ایجاد رنگ صورتی کم رنگ ادامه دهید. حجم محلول مصرفی را از بورت خوانده و یادداشت کنید. آزمایش را ۳ بار تکرار کنید. باید در هر بار یک پاسخ به دست آید. نرمالیت محلول سود را محاسبه کنید.

آزمایش ۲: تعیین نرمالیت محلول اگزالیک اسید

۲ گرم اگزالیک اسید توزین نموده و آن را در بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتری به حجم برسانید. سپس ۱۰ میلی‌لیتر از این محلول را برداشته و به یک ارلن تمیز منتقل کنید. دو قطره فنل فتالئین بیفزایید و با محلول سود که در آزمایش قبل استفاده شد تیتراژ کنید. آزمایش را چند بار تکرار کنید و هر بار حجم مصرفی را یادداشت کنید. نرمالیت محلول اسیدی مجهول را محاسبه کنید.

پرسش:

مقداری سود در آب حل نموده و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌رسانیم. اگر ۱۰ میلی‌لیتر از این محلول با ۳ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال تیتراژ شود مقدار اولیه سود را تعیین کنید.

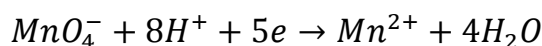
فصل ۷:

تیتراسیون اکسایش – کاهش

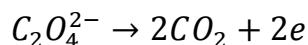
در تیتراسیون اکسید و احیا واکنش بین آنالیت و تیترانت از نوع واکنش‌های اکسیداسیون و احیا است. به عبارتی دیگر، این تیتراسیون با تغییر عدد اکسایش و انتقال الکترون همراه است. در این نوع تیتراسیون، یک اکی‌والان گرم از جسم، مقداری است که بتواند یک مول الکترون بدهد و یا بگیرد:

$$E = \frac{\text{جرم ملکولی}}{\text{تعداد الکترون‌های تبادلیافته}}$$

پتاسیم پرمنگنات، KMnO_4 ، یک اکسنده قوی است. محلول پتاسیم پرمنگنات رنگ بنفش تندی دارد که بر اثر کاهش و تولید یون Mn^{2+} بی‌رنگ می‌شود. بنابراین در تیتراسیون‌هایی که از پتاسیم پرمنگنات به عنوان اکسنده استفاده می‌شود نیازی به افزودن شناساگر نمی‌باشد:



کاهنده می‌تواند اگزالیک اسید، $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ، باشد:



روش آزمایش:

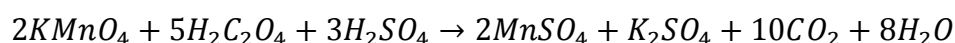
آزمایش ۱: تعیین نرمالیت محلول پتاسیم پرمنگنات

ابتدا بورت را با آب مقطر و سپس چند میلی‌لیتر سدیم پرمنگنات بشوید. سپس آن را با محلول سدیم پرمنگنات مجهول پر کنید. ۱۰ میلی‌لیتر اگزالیک اسید ۰/۱ نرمال را با پیپت برداشته و داخل یک ارلن تمیز بریزید. ۶ تا ۸ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۴ نرمال به آن اضافه کنید. محلول را تا حدود ۶۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دهید. سپس با پتاسیم پرمنگنات تیترا کنید. هنگامی که رنگ محلول صورتی بسیار کم‌رنگ شد تیتراسیون را متوقف

کنید. حجم محلول را از روی بورت بخوانید و یادداشت کنید. آزمایش را چند مرتبه تکرار کنید. با توجه به معادله نیم واکنش‌های گفته شده نرمالیت محلول پتاسیم پرمنگنات مجهول را به دست آورید.

آزمایش ۲: تعیین نرمالیت محلول اگزالیک اسید

مقداری اگزالیک اسید را توزین نموده و درون بالن ژوژه ۲۵۰ میلی‌لیتری به حجم برسانید. ۱۰ میلی‌لیتر از آن را با پیپت برداشته و داخل ارلن بریزید. حدوداً ۱۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۴ نرمال به محلول اضافه کنید. داخل یک بورت محلول پتاسیم پرمنگنات (که نرمالیت آن را در آزمایش اول تعیین نموده‌اید) بریزید. محتویات ارلن را حرارت دهید و سپس تیتراسیون را انجام دهید. هنگامی که رنگ صورتی کم‌رنگ پایدار ظاهر شد تیتراسیون را متوقف کنید. آزمایش را دو بار دیگر تکرار کنید. نرمالیت محلول اگزالیک اسید مجهول را تعیین کنید.



پرسش:

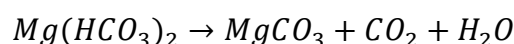
- ۱- ترکیب قهوه‌ای رنگ مشاهده شده در حین تیتراسیون چیست؟
- ۲- مقدار اگزالیک اسید موجود در محلول مجهول چقدر است؟
- ۳- برای تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول اگزالیک اسید ۰/۰۵ مولار چند گرم اگزالیک اسید لازم است؟
- ۴- ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول پتاسیم پرمنگنات با غلظت ۴ گرم در لیتر در حضور سولفوریک اسید، چند گرم اگزالیک اسید را اکسید می‌کند؟

فصل ۸

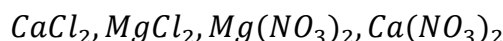
تعیین سختی آب

آب اگر شامل مواد معدنی زیادی باشد آب سخت نامیده می‌شود. آب‌های سخت حاوی بی‌کربنات، کلراید و سولفات‌های کلسیم و منیزیم هستند. صابون در آب سخت به صورت نمک‌های نامحلول کلسیم و منیزیم رسوب می‌دهد.

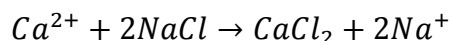
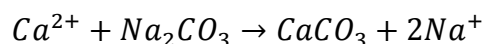
سختی موقت: سختی موقت آب ناشی از حضور بی‌کربنات کلسیم و منیزیم است که در اثر حرارت به کربنات نامحلول تبدیل شده و ته‌نشین می‌شوند. بنابراین با جوشاندن آب سختی موقت به آسانی از بین می‌رود:



سختی دائم: سختی دائم آب ناشی از حضور کلراید و سولفات‌های کلسیم و منیزیم است که به صورت محلول هستند و در اثر حرارت دادن هم از بین نمی‌روند:



برای از بین بردن سختی دائم آب از موادی مانند سدیم کربنات و سدیم کلراید استفاده می‌شود:



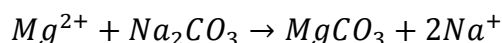
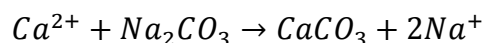
سختی کل: به مجموع سختی موقت و سختی دائم سختی کل گفته می‌شود.

روش آزمایش:

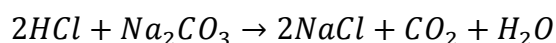
آزمایش ۱: تعیین سختی دائم آب

۵۰ میلی لیتر آب شهری را در یک کپسول چینی بریزید. توسط یک پیپت ۱۰ میلی لیتر سدیم کربنات ۰/۱ نرمال به آب داخل کپسول اضافه کنید. کپسول چینی را مستقیماً حرارت دهید تا حدوداً ۱۰ میلی لیتر از آب باقی بماند.

سپس کپسول چینی را روی حمام آبی حرارت دهید تا مابقی آب تبخیر شود:



در مرحله بعد به کپسول چینی حدود ۱۵ میلی لیتر آب مقطر اضافه کنید. رسوب کلسیم کربنات و منیزیم کربنات را صاف کنید. کپسول چینی را با آب مقطر بشویید و دوباره صاف کنید. به محلول زیر صافی (که حاوی سدیم کربنات اضافی است) ۲ قطره متیل اورانژ اضافه نموده و با محلول هیدروکلریک اسید ۰/۲ نرمال تیتراً کنید. هنگامی که رنگ محلول از زرد به نارنجی تغییر نمود تیتراسیون را متوقف کنید:



حجم HCl مصرفی (V_1) را یادداشت کنید. سپس در آزمایشی دیگر ۱۰ میلی لیتر محلول سدیم کربنات ۰/۱ نرمال را به یک ارلن تمیز منتقل کنید و به آن دو قطره متیل اورانژ اضافه نمایید. تیتراسیون را توسط محلول هیدروکلریک اسید ۰/۲ نرمال انجام دهید. دو بار دیگر آزمایش را تکرار کنید. حجم اسید مصرفی (V_2) را یادداشت نمایید.

حجم اسید مصرف شده برای رسوب دادن کلسیم و منیزیم در ۵۰ میلی لیتر آب برابر است با:

$$V_2 - V_1$$

حجم اسید مصرف شده برای رسوب دادن کلسیم و منیزیم در یک لیتر آب برابر است با:

$$\frac{V_2 - V_1 \times 1000}{50}$$

میلی اکی والان گرم اسید مصرف شده:

$$(V_2 - V_1) \times 20 \times 0.2$$

در نتیجه سختی دائم آب برابر است با:

$$\frac{1}{2}(V_2 - V_1) \times 20 \times 0.2 \times (M_{Mg^{2+}} + M_{Ca^{2+}})$$

آزمایش ۲: تعیین سختی موقت آب

داخل یک ارلن تمیز ۵۰ میلی لیتر آب بریزید. دو قطره متیل اورانژ به آن اضافه کنید و با محلول هیدروکلریک اسید ۰/۲ نرمال تیترا کنید. هنگامی که رنگ محلول از زرد به نارنجی تغییر نمود تیتراسیون را متوقف کنید. دو بار دیگر آزمایش را تکرار کنید. حجم اسید مصرفی را یادداشت نمایید. سختی موقت و سختی کل را به دست آورید.

