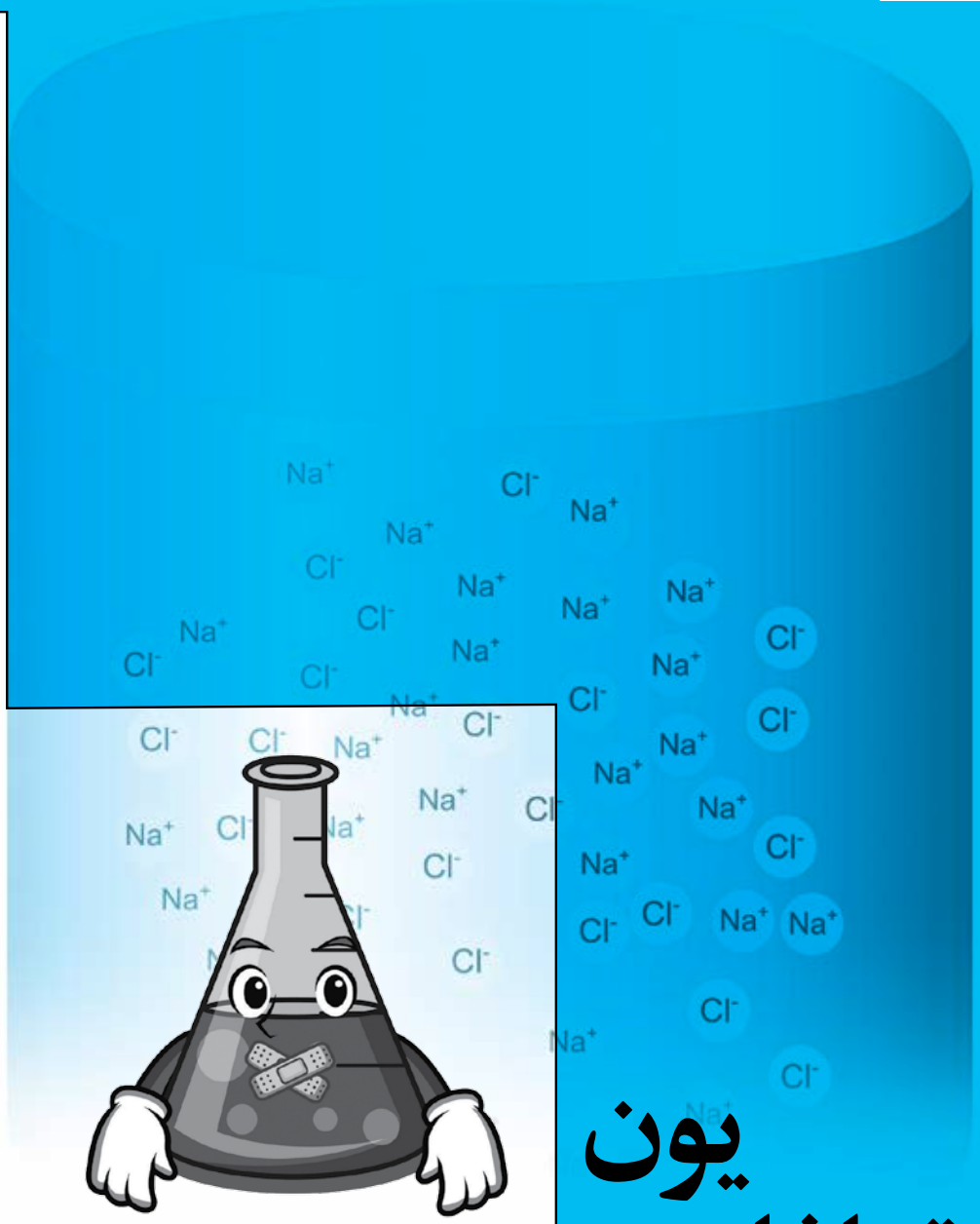


یون تماشاچی در نقش کاتالیزگر

زهرا ارزانی
معلم شیمی ناحیه ۲ کرج

اشاره

یکی از آزمایش‌های معروف کتاب‌های درسی شیمی، واکنش جابه‌جایی یگانه است. در این نوع واکنش‌ها فلز فعال‌تر، الکترون از دســـت می‌دهد و به فاز محلـــول راه می‌یابد. در این مقاله از روشی متفاوت برای نشـــان دادن نقش کاتالیزگرها در افزایش سرعت واکنش استفاده شده است.

این آزمایش در مدت یک ساعت، به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا میزان پیشرفت یک واکنش جابه‌جایی را در بعد میکروسکوپی بررسی کنند.

کلیدواژه‌ها: واکنش‌های شیمیایی، کاتالیزگر، سرعت واکنش

مقدمه

دانش‌آموزان در کتاب علوم نهم و همچنین در کتاب شیمی دهـم و یازدهم، میزان واکنش‌پذیری عنصرهـا، به ویژه فلزها را بررسـی می‌کنند و تا حدودی با این دسـته از واکنش‌های اکسایش و کاهش آشـنا می‌شوند. در پایه دوازدهم این مبحث با عنوان الکتروشیمی به‌طور کامل مطرح می‌شود. آزمایش‌های متعددی در کتاب‌های درسی در این زمینه پیشنهاد شده است. مانند آزمایش قرار دادن تیغـه روی، منیزیم و آهن در محلول مس II سـولفات در کتاب علوم نهم (فصل اول)، آزمایش میخ آهنی با محلول مس II سولفات در کتاب شیمی یازدهم (فصل اول)، آزمایش اسـتخراج آهن، زورآزمایی شـیمی و برقکافت محلول در کتاب آزمایشـگاه علوم. یکـی از آزمایش‌های جالب زورآزمایی شیمی نامیده شـده است. دانش‌آموز با اضافه کردن محلول مس II کلرید به قوطی‌های نوشیدنی ،پس از چند دقیقه بـه راحتی قوطی را پاره می‌کند. در ایـن آزمایش با کنار زدن روکش پلاستیکی در داخل قوطی نوشیدنی، امکان واکنش فلز آلومینیم با یون مس فراهم می‌شـود. اگر به جای محلول مس کلرید از محلول مس II سـولفات در آب مقطر اسـتفاده شود، زمان زیادی باید سپری شود تا بتوان قوطی را نصف کرد. در هر دو واکنش، فلز آلومینیم به یون مس الکترون می‌دهد:

$$2Al + 3\,CuCl_2 \rightarrow 2AlCl_3 + 3\,Cu$$
$$2Al + 3\,CuSO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3\,Cu$$

اما چرا در واکنش دوم سـرعت بسیار پایین است؟ اگر از آب یون‌زدایی‌شـده برای تهیه محلول مس‌سولفات استفاده کنید، واکنـش اصلاً انجام نخواهد شـد. در صورت تهیه محلول مس سولفات با آب شیر هم سرعت واکنش خیلی کندتر خواهد بود. با استفاده از مس II کلرید، پس از ۲ تا ۳ دقیقه، رسوب سرخ‌رنگ مس در محل‌هایی که با چاقو خراش داده‌اید دیده می‌شود و پس از ۵ دقیقـه با اطمینان می‌توانید با یک پیچش، قوطی را نصف کنید. گفتنی است که در حالت اول، نیم ساعت زمان لازم است تا بتوان قوطی را نصف کرد.

آزمایش کنید

مواد و وسایل مورد نیاز:

بشـر ۲۵ mL، گرد آگار،آب یون‌زدایی‌شده، ورقه آلومینیمی، پتری، مس II سولفات، سـدیم‌کلرید، مس II کلرید، مس II برمید.

گرد آگار را می‌توانید از شیرینی‌فروشی‌ها تهیه کنید.

آزمایش ۱

- ۲۵ mL آب یون‌زدایی‌شده در بشر بریزید و به آن ۱ گرم گرد آگار بیفزایید.

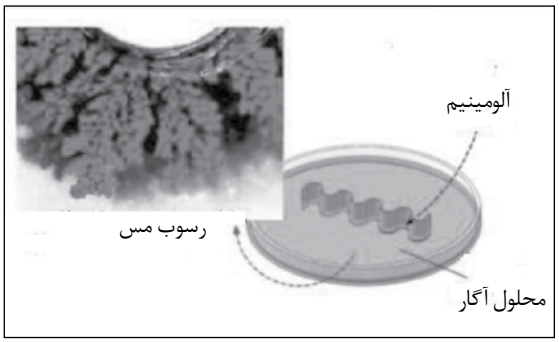
▲ شکل ۱ پتری حاوی ورقه آلومینیم و رسوب مس

- بشر را تا دمای ۹۰ °C گرم کنید و محتویات آن را به هم بزنید تا آگار کاملاً در آب حل شود.
- ۲ گرم مس II سولفات، به بشر بیفزایید. با لمس بشر به دمای محلول توجه کنید.
- محلول شـفاف آبی‌رنگ را در ظرف پتری بریزید و تکه‌ای از ورقه آلومینیم را داخل آن قرار دهید.
- به دمای محلول پس از چند دقیقه توجه کنید. آیا تغییری در اطراف آلومینیم مشاهده می‌کنید؟
- با اسـتفاده از دوربین گوشـی همراه می‌توانید در پنج دقیقه نخسـت آغاز واکنش، و سـپس نیم سـاعت پس از قرار دادن آلومینیـم، از ظرف پتری عکس بگیرید. ظـرف پتری را برای مقایسه با آزمایش دوم نگه دارید.

آزمایش ۲

- دو مرحله نخست از آزمایش ۱ را تکرار کنید.
- ۲ گرم مس II سولفات و ۰/۵ گرم نمک سدیم‌کلرید به محلول آگار بیفزایید. با لمس بشر، به دمای محلول توجه کنید.
- محلول شـفاف آبی‌رنگ را در ظرف پتری بریزید و تکه‌ای از ورقه آلومینیم را داخل آن قرار دهید.
- به دمای محلول پس از چند دقیقه توجه کنید. آیا تغییری در اطراف آلومینیم مشاهده می‌کنید؟
- با استفاده از دوربین گوشی همراه در پنج دقیقه آغاز واکنش، و نیم سـاعت پس از قرار دادن آلومینیم، از ظرف پتری عکس بگیرید. ظرف پتری را برای مقایسـه با آزمایش اول و سوم نگه دارید.

واکنش در این آزمایش با افزایش نمک سدیم‌کلرید، به سرعت آغاز می‌شـود و ظرف واکنش در نتیجه آزاد شـدن گرما، گرم می‌شود. (دما از ۲۰ به ۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد.)



▲ شکل ۲ عکس رسوب مس که با دوربین گوشی گرفته شده است.

آزمایش ۳

- پس از تهیه محلول آگار به روش دو آزمایش قبل ، ۲ گرم مس II کلرید به محلول آگار بیفزایید. با لمس بشر به دمای محلول توجه کنید.
- محلول شفاف آبی‌رنگ را داخل ظرف پتری بریزید و تکه‌ای از ورقه آلومینیم مانند آزمایش قبل در آن قرار دهید.
- به دمای محلول پس از چند دقیقه توجه کنید. آیا تغییری در اطراف آلومینیم مشاهده می‌کنید؟
- در پنج دقیقه آغاز، و نیم ساعت پس از قرار دادن آلومینیم، از ظرف پتری عکس بگیرید.
- سرعت انجام بلورهای قرمز در اطراف آلومینیم را در هر سه آزمایش با هم مقایسه کنید. چه عاملی در این سه آزمایش متفاوت بود؟ وجود چه ذره‌ای می‌تواند باعث متفاوت شدن سرعت در این سه ظرف شود؟

آزمایش ۴

مراحل آزمایش ۳ را با مس II برمید تکرار کنید.

چرا آلومینیم با مس II کلرید به سرعت وارد واکنش می‌شود ولی با مس II سولفات واکنش نمی‌دهد؟

این پدیده جالب توسط کلیف شرادر[1] کشف شد. او می‌خواست واکنش آلومینیم با مس کلرید را انجام دهد ولی قوطی مس کلرید خالی بود. بنابراین تصمیم گرفت از مس سولفات که به مقدار زیاد در آزمایشگاه موجود بود استفاده کند. اما هیچ واکنشی رخ نداد. در هر دو واکنش، تبادل الکترون بین مس و آلومینیم انجام می‌گیرد در حالی که یون‌های کلرید و سولفات، نقش یون‌های ناظر را دارند:

$$Al(s) \rightarrow Al^{3+}(aq) + 3e^-$$

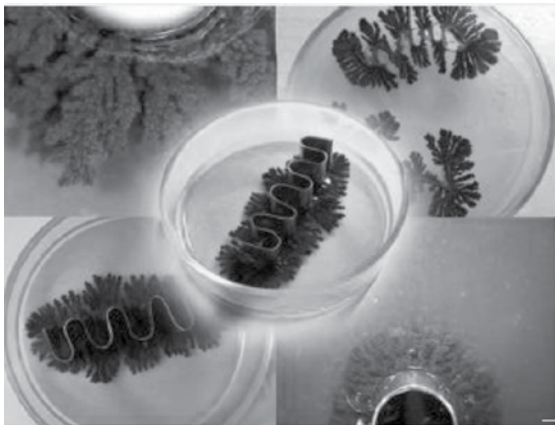
$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$$

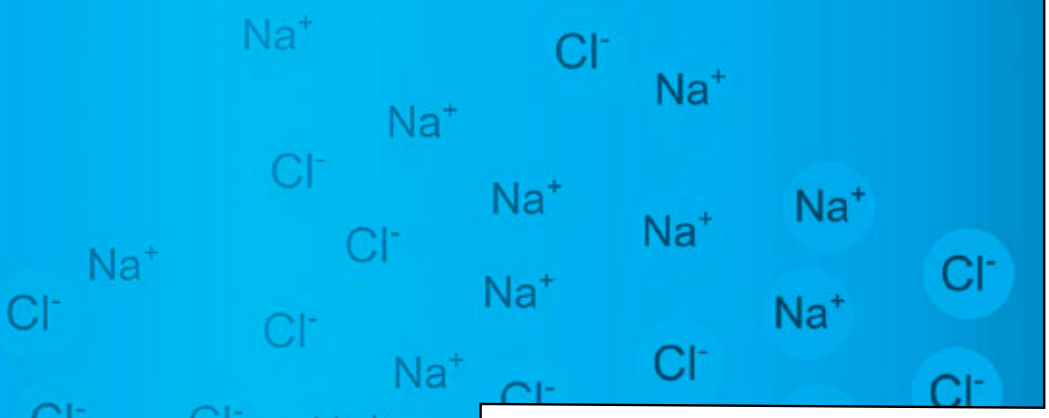
$$2Al(s) + 3Cu^{2+}(aq) \rightarrow 2Al^{3+}(aq) + 3Cu(s)$$

هنوز هم معمای شرادر پاسخ روشنی ندارد. اما توضیحاتی به شرح زیر در منابع مطرح شده است:

۱. یون کلرید می‌تواند نقش یک کاتالیزگر را داشته باشد. شرادر یون‌های هالید دیگر را بررسی کرد. با مس II برمید نیز واکنش به سرعت انجام شد. از این پدیده به اثر تندشونده با هالید[2] یاد می‌شود.

۲. توجیه دیگر بر پایه لایه آلومینیم‌اکسید تکیه دارد. اکسید آلومینیم تشکیل‌شده در سطح آلومینیم، مانند پوششی مانع از واکنش آلومینیم با مواد می‌شود. در شرایط اسیدی (pH<۴) و شرایط بازی (pH>۹) این لایه اکسید حل می‌شود و فلز آلومینیم زیر آن امکان انجام واکنش را پیدا می‌کند. بنا به آزمایش‌ها، یون کلرید و برمید سرعت واکنش جانشینی Cu-Al را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهند. به نظر می‌رسد، در حضور یون کلرید، لایه اکسید حل می‌شود و بنابراین آلومینیم با یون مس تماس پیدا می‌کند. در منابع اشاره شده است که برای حل شدن این لایه pH کمتر از ۴ لازم است. در حالی که محلول ۰/۱۹۳۵ مول بر لیتر $CuCl_2$ که دارای pH برابر ۳/۸۹۹ است و همچنین محلول ۰/۰۳۸۷ مول بر لیتر آن با pH برابر ۴/۱۵۴، هر دو با آلومینیم به سرعت واکنش می‌دهند. سوبل[3] بر این باور است که یون هالید با یون آلومینیم کمپلکس تولید می‌کند و با خارج کردن این یون، سرعت واکنش رفت افزایش می‌یابد.





$Al_2O_3 + 4Cl^- + H_2O + 2H^+ \rightarrow 2\,[Al(OH)_2Cl_2]^-$

واکنش همچنین با آزاد شدن گاز هیدروژن همراه است:

$2Al + 6H^+ \rightarrow 2Al^{3+} + 3H_2$

نتیجه‌گیری

یون‌های تماشاچی در برخی از واکنش‌ها، روی سرعت واکنش اثر می‌گذارند. برای نمونه یون هالید در واکنش جابه‌جایی Cu-Al سرعت واکنش را بیش از دو برابر، نسبت به یون‌های سولفات و نیترات افزایش می‌دهد.

* پی‌نوشت‌ها

1.Schrader,C.
2. A halid-acceleration effect
3.Sobel,S.G.

* منابع

1.**Sobel, S.G. and Cohen S**. ,*J.Chem. Educ.***2010**, 87, No. 6 June.
2.Wei, W.Y, Lee, C. and Chen, H.J. "Modeling and Analysis of the Cementation Process on a Rotating Disk." Langmuir 1994, 10, 1980-1986
3.Flinn Scientific 2017, Content Standards: Grades 9–12 Content Standard B: Physical Science, structure and properties of matter, chemical reactions, Publication No. 10263
022117. https://www.flinnsci.com/api/library/Download/c2f239d-8c3b74706972220d18f166cac
4.Xu Xinhua, at ale, *J. Chem. Educ*,**2016**, May 22.
5.www.hofstra.edu/pdf/about/administration/provost/orsp/orsp_faculty_research2013_sobel.pdf
6.www.middleschoolchemistry.com/lessonplans/chapter6/lesson5