کتاب آموزشی پیشرو

کتاب درسی

زیر ذره‌بین

شیمی (۳)

(رشته علوم تجربی و ریاضی)

افشین یزدان‌شناس

ویرایش جدید
شامل آخرین سوالات کنکور

کتب آموزشی پیشرو

شیمی ۳

پایه دوازدهم

ویرایش جدید

تألیف و گردآوری:

افشین یزدان‌شناس

سرشناسه : یزدان‌شناس، افشین، ۱۳۵۸
عنوان و نام پدیدآور : کتاب درسی زیر ذره بین شیمی (۳) - پایهٔ دوازدهم/ تألیف افشین یزدان‌شناس؛ ویراستارادبی مریم مجاور؛ ویراستار علمی شیوا سادات امین
مشخصات نشر : تهران: کتب آموزشی پیشرو، ۱۴۰۱
مشخصات ظاهری : ۲۱۶ ص.: مصور (رنگی)، جدول، نمودار؛ ۲۲ × ۲۹ س م.
شابک : ۲۲۰۰۰۰۰ ریال: ۸-۴-۹۲۶۰۵-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپای مختصر
شناسه افزوده : امین، شیوا سادات، ویراستار
شماره کتابشناسی ملی : ۸۹۸۸۳۷۴
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

شیمی ۳
پایه دوازدهم

ویرایش جدید

نام کتاب	:	کتاب درسی زیر ذره‌بین شیمی(۳)- پایه دوازدهم
ناشر	:	کتب آموزشی پیشرو (کاپ)
عنوان پروژه	:	کتاب درسی زیر ذره‌بین
مدیریت پروژه	:	خانه زیست‌شناسی
تألیف و گردآوری	:	افشین یزدان‌شناس
ناظر فنی	:	سپیده زارعی
صفحه‌بندی	:	کتب آموزشی پیشرو (کاپ)
حروف‌چینی	:	جواد جعفریان
طراحی جلد	:	امیرحامد پاژنار
ویراستار علمی	:	شیوا سادات امین، محمد عرفان عباسی، ستایش کریمی
ویراستار ادبی	:	مریم مجاور
لیتوگرافی و چاپ	:	گلپا گرافیک/ نگار نقش
سال و نوبت چاپ	:	دوم - ۱۴۰۲
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۹۲۶۰۵-۴-۸
شمارگان	:	۱۰۰۰ نسخه
قیمت	:	۲۲۰۰۰۰ تومان

این کتاب ۲۱۶ صفحه می‌باشد.

مرکز فروش: میدان انقلاب- خیابان فخررازی- خیابان وحیدنظری غربی- پلاک ۸۳
۰۲۱-۶۶۴۹۳۴۹۰ ۰۲۱-۶۶۹۶۱۰۷۹ ۰۲۱-۶۶۹۶۴۷۲۳ -۵ (فروشگاه): ۰۲۱-۶۶۹۵۳۵۱۷-۱۸
۱۳۱۴۵-۱۱۳۹
www.zirezarebinpub.ir
www.cup-book.com
cupbook.pub

مدار کامل نیست و امکان نصب ولت‌سنج میسّر نمی‌باشد.

اندازه‌گیری پتانسیل یک نیم‌سلول به‌طور جداگانه ممکن نیست و باید این کمیت به‌طور نسبی اندازه‌گیری شود. شیمی‌دان‌ها برای دستیابی به این هدف، نیم سلول استاندارد هیدروژن (SHE) را به‌عنوان مبنا انتخاب کردند و پتانسیل آن را برابر با صفر در نظر گرفتند.

با مقایسه با یک نیم‌سلول دیگر (مرجع)

در ادامه با تشکیل سلول گالوانی از هر نیم سلول با SHE ($E^\circ(2H^+ / H_2) = 0\ volt$) توانستند پتانسیل بسیاری از نیم‌سلول‌ها را اندازه‌گیری کرده و در جدولی ثبت کنند (جدول ۱). این اندازه‌گیری‌ها در دمای ۲۵°C، فشار ۱atm و غلظت یک مولار برای محلول الکترولیت‌ها انجام شده است.

شرایط STP نیست — گاز H_2

در این شرایط پتانسیل اندازه‌گیری شده را **پتانسیل استاندارد**[1] نیم‌سلول می‌نامند و با E° نمایش می‌دهند.

در این جدول همهٔ گونه‌ها در حال کاهش یافتن (گرفتن الکترون) هستند.

جدول ۱- پتانسیل کاهشی استاندارد برای برخی نیم‌سلول‌ها (غالباً فلزات)

نیم‌واکنش کاهش	E° (V)
گونهٔ کاهنده (سمت راست) ← گونهٔ اکسنده (سمت چپ)	
$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Au(s)$	+۱/۵۰
$Pt^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pt(s)$	+۱/۲۰
$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+۰/۸۰
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+۰/۳۴
$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	۰/۰۰
$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	−۰/۱۴
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	−۰/۴۴
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	−۰/۷۶
$Mn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mn(s)$	−۱/۱۸
$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$	−۱/۶۶
$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$	−۲/۳۷

سمت چپ و بالاتر = اکسنده قوی‌تر — محلول اسیدی — E° — کاهنده قوی‌تر = سمت راست و پایین‌تر

نیم‌سلول منیزیم

همان‌گونه که مشاهده می‌کنید در این جدول، نیم‌واکنش‌ها به شکل کاهش نوشته شده‌اند و این پیشنهاد آیوپاک برای هماهنگی در همه منابع علمی معتبر به‌کار می‌رود. در هر نیم‌واکنش، گونه کاهنده در سمت راست و گونه اکسنده در سمت چپ نوشته می‌شود. در این جدول علامت E° فلزهایی که قدرت کاهندگی بیشتری از H_2 دارند، منفی و علامت E° فلزهایی که قدرت کاهندگی کمتری از H_2 دارند، مثبت است.

پایین‌تر از H_2(SHE) — بالاتر از H_2(SHE)

نکته در این جدول هر چه گونه‌ای در سمت راست و پایین‌تر باشد، کاهندهٔ قوی‌تر و هر چه گونه‌ای سمت چپ و بالاتر باشد اکسندهٔ قوی‌تری است.

۱- Standard Potential

نکته کاهنده‌تر بودن یک فلز نسبت به فلز دیگر به معنای میل بیشتر آن به تبدیل شدن به کاتیون است. به‌عبارت دیگر تبدیل یک فلز کاهنده‌تر به کاتیون، آسان‌تر و برعکس، تبدیل کاتیون این فلز به اتم خنثی دشوارتر است.

آیا می‌دانید

SHE شامل یک الکترود پلاتینی است که در محلولی با pH=۰ و دمای ۲۵°C قرار دارد و گاز هیدروژن با فشار ۱atm از روی آن عبور داده می‌شود.

مثلاً محلول یک اسید قوی و یک ظرفیتی با pH = ۰

رتبه‌بندی فلزها براساس E° آن‌ها در یک جدول، **سری الکتروشیمیایی** نامیده می‌شود.

تست

با توجه به نیم‌واکنش‌های زیر، کدام گونه کاهنده‌تر و کدام گونه اکسنده‌تر است؟

$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$, $E^\circ = +1/35\,V$

$Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$, $E^\circ = 1/07\,V$

$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$, $E^\circ = 0/53\,V$

پاسخ: ترتیب E° ها (از پایین به بالا افزایشی) رعایت شده است. پس کاهنده‌ترین گونه I^- (سمت راست و پایین‌ترین) و Cl_2 اکسنده‌ترین هستند.

آیا می‌دانید

هر یک از نیم‌واکنش‌های جدول E°، می‌تواند بسته به شرایط انجام واکنش کلی، در جهت رفت یا برگشت پیش بروند.

نکته

فرم کلی واکنش انجام‌شده در یک سلول گالوانی:

تیغهٔ کاتد (جامد) + کاتیون نیم‌سلول آند ← کاتیون نیم‌سلول کاتد + تیغهٔ آند (جامد)

خود را بیازمایید

منیزیم فلزی واکنش‌پذیرتر (کاهنده‌تر) از نقره است.

با استفاده از جدول ۱ مشخص کنید در سلول گالوانی ساخته شده از نقره و منیزیم :

آ) کدام الکترود آند (منیزیم) و کدام کاتد (نقره) خواهد بود؟ چرا؟

ب) نیم‌واکنش‌های انجام شده را بنویسید و واکنش کلی سلول را به‌دست آورید.

⊕ ← در جدول بالاتر ← E° مثبت‌تر

⊖ ← در جدول پایین‌تر ← E° منفی‌تر

پیوند با ریاضی

نیم‌واکنش اکسایش : $Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e^-$

نیم واکنش کاهش : $2(Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s))$

واکنش کلی : $Mg(s) + 2Ag^+(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

۱ـ با مراجعه به جدول ۱، هریک از جاهای خالی را پر کنید.

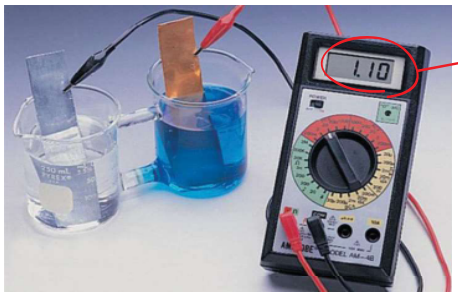
$E^\circ(Zn^{2+}/Zn) = -0.76\ V$ (اکسنده: Zn^{2+}، کاهنده: Zn، معلول، تیغه، در جدول پایین‌تر از H_2)

$E^\circ(Cu^{2+}/Cu(s)) = +0.34\ V$ (اکسنده: Cu^{2+}، کاهنده: Cu(s)، معلول، تیغه، در جدول بالاتر از H_2)

۲ـ در سلول گالوانی تشکیل شده از دو نیم‌سلول بالا مشخص کنید کدام یک نقش آند و کدام یک نقش کاتد را دارد؟

(E° منفی‌تر — E° مثبت‌تر)

۳ـ شکل زیر سلول گالوانی استاندارد روی ـ مس را نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:



آ) emf این سلول را از روی شکل مشخص کنید.

ب) کدام رابطهٔ زیر برای محاسبه این کمیت به‌کار رفته است؟ توضیح دهید.

☐ $emf = E^\circ(\text{کاتد}) - E^\circ(\text{آند})$

☑ $emf = E^\circ(\text{کاتد بزرگ‌تر}) - E^\circ(\text{آند کوچک‌تر})$

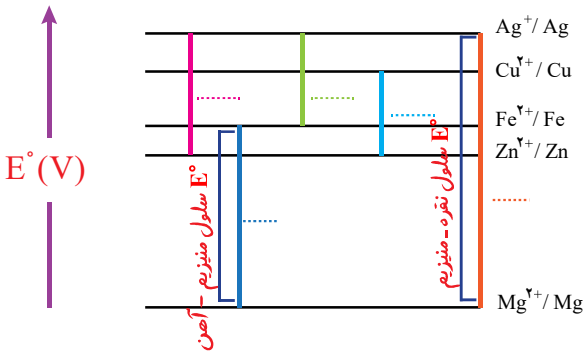
آیا می‌دانید

emf کمیتی از جنس انرژی است که آن را در فیزیک با نام نیروی محرکه الکتریکی شناختید. شیمی‌دان‌ها در منابع علمی معتبر آن را با $E^\circ_{\text{سلول}}$ نیز نشان می‌دهند.

نکته

در یک سلول گالوانی (که انجام واکنش‌ها در آن خودبه‌خودی است)، همواره $emf > 0$ است.

۴ـ در نمودار زیر هر خط رنگی نشان‌دهنده یک سلول گالوانی تشکیل شده از دو فلز را نشان می‌دهد. با توجه به جدول پتانسیل استاندارد به پرسش‌ها پاسخ دهید.



۸. مقدار emf (V) سلول گالوانی استاندارد لیتیم ـ نقره برحسب ولت، به‌تقریب چند برابر مقدار emf (V) سلول گالوانی استاندارد روی ـ نقره است؟ (فارغ، ریاضی ۹۸)

نوع فلز	لیتیم	نقره	روی
$E^\circ(V)$	$-۳/۰۵$	$+۰/۸$	$-۰/۷۶$

۱) ۲/۲۵ ۲) ۲/۴۷ ۳) ۳/۴۷ ۴) ۳/۷۵

تحلیل سؤال

در یک سلول گالوانی، گونه‌ای که E° مثبت‌تری دارد، نقش کاتد و گونهٔ با E° منفی‌تر، نقش آند را ایفا می‌کند. بنابراین در سلول گالوانی لیتیم ـ نقره، کاتد و آند به‌ترتیب نقره و لیتیم هستند.

$$emf = E^\circ_{\text{کاتد}} - E^\circ_{\text{آند}} = +۰/۸ - (-۳/۰۵) = ۳/۸۵V$$

در سلول روی ـ نقره، داریم:

$$emf = E^\circ_{\text{کاتد}} - E^\circ_{\text{آند}} = +۰/۸ - (-۰/۷۶) = ۱/۵۶V$$

بنابراین:

$$\frac{emf\ (\text{لیتیم ـ نقره})}{emf\ (\text{روی ـ نقره})} = \frac{۳/۸۵}{۱/۵۶} \simeq ۲/۴۷$$

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۹. با توجه به نیم‌واکنش‌های زیر، قوی‌ترین اکسنده و قوی‌ترین کاهنده، به‌ترتیب از راست به چپ کدام‌اند و واکنش کدام دو گونهٔ شیمیایی با هم، در شرایط استاندارد انجام‌پذیر است؟ (فارغ، تجربی ۹۶)

$Sn^{۲+}(aq) + ۲e^- \rightarrow Sn(s)\ ,\ E^\circ = -۰/۱۴V$

$Hg^{۲+}(aq) + ۲e^- \rightarrow Hg(l)\ ,\ E^\circ = +۰/۸۵V$

$Fe^{۳+}(aq) + ۳e^- \rightarrow Fe(s)\ ,\ E^\circ = -۰/۰۴V$

$Au^+(aq) + e^- \rightarrow Au(s)\ ,\ E^\circ = +۱/۶۸V$

۱) $Hg^{۲+}(aq)$ ، $Fe(s)$ ، $Au^+(aq)$ با $Sn(s)$

۲) $Hg^{۲+}(aq)$ ، $Fe(s)$ ، $Au(s)$ با $Cl_۲(g)$

۳) $Au^+(aq)$ ، $Sn(s)$ ، $Hg^{۲+}(aq)$ با $Sn(s)$

۴) $Au^+(aq)$ ، $Sn(s)$ ، $Hg^{۲+}(aq)$ با $Au(s)$

تحلیل سؤال

برای پاسخ به این سؤال‌ها ابتدا گونه‌ها را مطابق سری الکتروشیمیایی و برحسب E° مرتب می کنیم.

کاهنده‌ها — اکسنده‌ها

$Au^+(aq) + e^- \rightarrow Au(s)$

$Hg^{۲+}(aq) + ۲e^- \rightarrow Hg(l)$

$Fe^{۳+}(aq) + ۳e^- \rightarrow Fe(s)$

$Sn^{۲+}(aq) + ۲e^- \rightarrow Sn(s)$

در جدول حاصل قوی‌ترین اکسنده سمت چپ و بالاترین گونه است (Au^+) و کاهنده‌ترین گونه سمت راست و پایین‌ترین است. ($Sn(s)$)

همچنین واکنش خودبه‌خودی (طبیعی) بین گونهٔ اکسندهٔ بالایی (سمت چپ) و گونهٔ کاهندهٔ پایینی انجام می‌شود.

$$Hg^{۲+}(aq) + Sn(s) \rightarrow Sn^{۲+}(aq) + Hg(l)$$

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۱۰. نیروی الکتروموتوری (E°) واکنش: $M(s) + ۲Ag^+(aq) \rightarrow M^{۲+}(aq) + ۲Ag(s)$، برابر ۱/۵۶+ ولت و E° الکترود نقره برابر ۰/۸۰+ ولت است. E° الکترود فلز M، برابر ..... ولت است و کاتیون $Ag^+(aq)$، ..... از کاتیون $M^{۲+}(aq)$ است. (ریاضی ۹۸)

۱) ۰/۴−، کاهنده‌تر ۲) ۰/۴+، اکسنده‌تر

۳) ۰/۷۶−، کاهنده‌تر ۴) ۰/۷۶−، اکسنده‌تر

تحلیل سؤال

واکنش انجام‌شده در این سلول نشان می‌دهد که کاتیون Ag^+ با دریافت e به $Ag(s)$ کاهش یافته است $\left(۲Ag^+ + ۲e \rightarrow ۲Ag(s)\right)$ بنابراین در این سلول، نقره نقش کاتد و M نقش آند را ایفا می‌کنند.

$$emf = E^\circ_{\text{کاتد}} - E^\circ_{\text{آند}} \Rightarrow ۱/۵۶ = ۰/۸ - E^\circ_M$$

$$\Rightarrow E^\circ_M = -۰/۷۶V$$

کاتد بودن الکترود نقره نشان می‌دهد که E° آن مثبت‌تر از M است. بنابراین در سری الکتروشیمیایی نقره بالاتر از M قرار داشته و کاتیون آن (Ag^+) اکسنده‌تر از کاتیون M ($M^{۲+}$) است.

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۱۱. با توجه به واکنش‌های زیر که به‌طور خودبه‌خودی در جهت رفت پیش می‌روند، کدام ترتیب دربارهٔ قدرت اکسندگی کاتیون‌ها درست است؟ (تجربی ۹۱)

$Sn^{۴+}(aq) + H_۲(g) \rightarrow Sn^{۲+}(aq) + ۲H^+(aq)$

$۲H^+(aq) + Sn(s) \rightarrow H_۲(g) + Sn^{۲+}(aq)$

$۲Fe^{۳+}(aq) + Sn^{۲+}(aq) \rightarrow ۲Fe^{۲+}(aq) + Sn^{۴+}(aq)$

۱) $Fe^{۳+} > Sn^{۲+} > H^+ > Sn^{۴+}$ ۲) $Fe^{۳+} < Sn^{۲+} < H^+ < Sn^{۴+}$

۳) $Fe^{۳+} > Sn^{۴+} > H^+ > Sn^{۲+}$ ۴) $Fe^{۳+} < Sn^{۴+} < H^+ < Sn^{۲+}$

تحلیل سؤال

همان‌طور که گفتم برای انجام‌پذیر بودن (خودبه‌خودی بودن) یک واکنش بعد از مرتب کردن گونه‌ها به‌ترتیب E° (از پایین به بالا E° ها افزایش یابند)، باید قانون زیر را همواره رعایت کنیم (واکنش اکسندهٔ بالایی با کاهندهٔ پایینی خودبه‌خودی است).

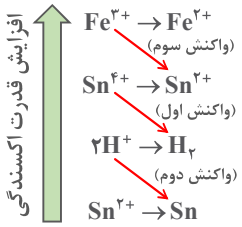
اکسنده (بالایی و سمت چپ) ← کاهنده (پایین و سمت راست)

واکنش اول نشان می‌دهد که $Sn^{۴+}$ با گرفتن الکترون به $Sn^{۲+}$ تبدیل شده است. پس $Sn^{۴+}$ اکسنده‌تر از H^+ بوده و در جدول بالاتر از آن قرار دارد.

واکنش دوم و کاهش H^+ به H_2 نشان می‌دهد که H^+ اکسنده‌تر از Sn^{2+} است.

واکنش سوم و کاهش Fe^{3+} به Fe^{2+} نشان می‌دهد که Fe^{3+} اکسنده‌تر از Sn^{4+} است.

یعنی جدولی مشابه جدول زیر:



پاسخ تست ۱ ۲ ۳ **۴**

۱۲. با توجه به موارد زیر، پتانسیل استاندارد کاهشی فلز M می‌تواند کدام عدد باشد؟ (ریاضی ۹۹)

$M(s) + Hg^{2+}(aq) \rightarrow Hg(s) + M^{2+}(aq)$

$E^\circ_{Hg^{2+}(aq)/Hg(s)} = +0/85V$

$M^{2+}(aq) + Sn(s) \rightarrow$ انجام نمی‌شود

$E^\circ_{Sn^{2+}(aq)/Sn(s)} = -0/14V$

$M(s) + Mg^{2+}(aq) \rightarrow$ انجام نمی‌شود

$E^\circ_{Mg^{2+}(aq)/Mg(s)} = -2/38V$

$M^{2+}(aq) + Mn(s) \rightarrow M(s) + Mn^{2+}(aq)$

$E^\circ_{Mn^{2+}(aq)/Mn(s)} = -1/18V$

۱) +۰/۱۱ ۲) -۰/۱۱ ۳) -۰/۴۰ ۴) +۱/۲

تحلیل سؤال

انجام شدن واکنش اوّل نشان می‌دهد که فلز M کاهنده‌تر از Hg بوده و توانسته در حضور Hg به M^{2+} تبدیل شود (اکسایش یابد) بنابراین مقدار E° فلز M حتماً از E° گونهٔ Hg منفی‌تر است. $(E^\circ_M < 0/85)$.

انجام نشدن واکنش دوّم نشان می‌دهد M^{2+} نتوانسته از Sn الکترون بگیرد و به M تبدیل شود (کاهش یابد) بنابراین در سری الکتروشیمیایی M پایین‌تر از Sn قرار داشته و E° آن کمتر از ۰/۱۴- است. $(E^\circ_M < -0/14)$. با این توضیحات فقط گزینهٔ (۳) می‌تواند پاسخ درست باشد.

پاسخ تست ۱ ۲ **۳** ۴

۱۳. با توجه به مقدار E° نیم‌واکنش‌های زیر، کدام موارد از مطالب زیر، درست است؟ (خارج، تجربی ۹۹)

$V^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow V(s)$, $E^\circ = -1/2V$

$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$, $E^\circ = -0/13V$

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$, $E^\circ = +0/80V$

الف) $V^{2+}(aq)$، اکسنده‌ای قوی‌تر از $Ag^+(aq)$ است.

ب) تبدیل $V^{2+}(aq)$ به $V(s)$، آسان‌تر از تبدیل $Pb^{2+}(aq)$ به $Pb(s)$ است.

پ) E° سلول گالوانی «سرب ـ نقره» از E° سلول گالوانی «وانادیم ـ سرب» کوچک‌تر است.

ت) واکنش: $2Ag^+(aq) + Pb(s) \rightarrow Pb^{2+}(aq) + 2Ag(s)$، در یک سلول گالوانی به‌طور طبیعی (خودبه‌خودی) پیش می‌رود.

۱) پ، ت ۲) الف، ت ۳) ب، پ، ت ۴) الف، ب، پ

تحلیل سؤال

ابتدا نیم‌واکنش‌ها را به‌ترتیب E° (از پایین به بالا افزایشی) مرتب می‌کنیم:

$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$

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

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

بررسی عبارت‌ها:

الف) نادرست. گونه‌های سمت چپ (Ag^+، Pb^{2+} و V^{2+}) اکسنده محسوب می‌شوند، هرچه اکسنده‌ای بالاتر باشد، قوی‌تر است بنابراین V^{2+} اکسنده‌ای ضعیف‌تر از Ag^+ است.

ب) نادرست. هرچه فلزی در سری الکتروشیمیایی پایین‌تر باشد (E° منفی‌تر) کاهندهٔ قوی‌تری است و تمایل آن برای تبدیل شدن به کاتیون، بیشتر است. می‌توان نتیجه گرفت که برای این‌گونه تبدیل کاتیون به اتم خنثی نیز سخت‌تر رخ می‌دهد. بنابراین تبدیل $V^{2+}(aq)$ به $V(s)$ سخت‌تر از تبدیل $Pb^{2+}(aq)$ به $Pb(s)$ است، زیرا V در مقایسه با Pb در جای پایین‌تری از جدول قرار دارد.

پ) درست.

$emf = E^\circ_{کاتد} - E^\circ_{آند} = +0/8 - (-0/13) = +0/93V$ (سرب ـ نقره)

$emf = E^\circ_{کاتد} - E^\circ_{آند} = -0/13 - (-1/2) = +1/07V$ (وانادیم ـ سرب)

ت) درست. واکنش اکسندهٔ بالایی (Ag^+) با کاهندهٔ پایینی (Pb) به‌طور طبیعی رخ می‌دهد.

پاسخ تست **۱** ۲ ۳ ۴

۱۴. با درنظر گرفتن موقعیت فلزها در جدول پتانسیل‌های کاهشی استاندارد که در آن فلز آهن بالاتر از روی بوده و نقره نیز بالای هیدروژن جای دارد، کدام مطلب درست است؟ (ریاضی ۹۰)

۱) محلول نمک‌های نقره را می‌توان در ظرفی از جنس فلز روی نگهداری کرد.

۲) اتم روی کاهنده‌تر از اتم آهن و یون $Ag^{+}(aq)$ اکسنده‌تر از یون $Fe^{2+}(aq)$ است.

۳) E° سلول الکتروشیمیایی روی ـ آهن، از E° سلول شیمیایی روی ـ نقره بزرگ‌تر است.

۴) در سلول الکتروشیمیایی آهن ـ نقره، نقره قطب منفی و آهن آند است و خورده می‌شود.

تحلیل سؤال

برای پاسخ به این سؤال باید فلاقیت به فرج داده و یک جدول کوچولو بسازیم. فداروشکر روی و نقره فقط یک کاتیون دارن (Zn^{2+} و Ag^{+}) و با توجه به گزینهٔ (۲) هم منظور طراح از کاتیون آهن، Fe^{2+} هست (تکلیف هیدروژن که مشخصه) حتماً به‌خاطر دارید که آهن و روی پایین‌تر از H_2 هستن.

$$Ag^{+} + e^{-} \rightarrow Ag(s)$$

$$2H^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow H_2(g)$$

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

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

بررسی گزینه‌ها:

گزینهٔ (۱): نادرست. برای نگهداری یک محلول در یک ظرف (فلز و جامد)، ظرف موردنظر باید از جنس کاهنده (گونهٔ سمت راست) و بالاتر نسبت به محلول (سمت چپ و پایین)باشد تا واکنشی انجام نشود *(عجب نکته‌ای!!!)* بنابراین محلول نمک نقره (Ag^{+}) را در ظرفی از جنس روی (کاهندهٔ پائینی) نمی‌توان نگهداری کرد. شکل سادهٔ زیر را به‌خاطر بسپارید.

کاهنده بالایی (ظرف)

$$Ag^{+} + e^{-} \rightarrow Ag(s)$$

«واکنش انجام نمی‌شود»

$$2H^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow H_2(g)$$

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

اکسندهٔ پائینی (محلول)

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

گزینه (۲): درست. اتم روی $Zn(s)$ سمت راست و پایین‌تر از $Fe(s)$ قرار دارد، پس کاهنده‌تر است و یون Ag^{+} سمت چپ و بالاتر از Fe^{2+} و اکسنده‌تر از آن است.

گزینهٔ (۳): نادرست. فاصلهٔ دو گونهٔ روی و نقره در جدول بیش از روی و آهن است (توجه کنید که روی در هر دو سلول مشابه است) بنابراین E° سلول (emf) روی ـ نقره بزرگ‌تر است.

گزینهٔ (۴): نادرست. نقره، E° مثبت‌تری از آهن دارد و در سلول حاصل، نقره، کاتد و قطب مثبت خواهد بود.

پاسخ تست: ۱ ۲ ۳ ۴

۱۵. ۳۲/۵ گرم از یک قطعهٔ آلیاژ روی و مس را در مقدار کافی محلول ۴ مولار هیدروکلریک اسید قرار داده و گرم می‌کنیم تا واکنش کامل انجام گیرد. اگر در این فرآیند، ۲/۲۴ لیتر گاز هیدروژن در شرایط استاندارد آزاد شده باشد، درصد جرمی مس در این آلیاژ کدام است و برای انجام کامل این واکنش، دست‌کم چند میلی‌لیتر از محلول این اسید لازم است؟ (گزینه‌ها را از راست به چپ بخوانید) (خارج، تجربی ۹۵)

$(Cu = 64 , Zn = 65 : g.mol^{-1})$

$$E^{\circ}(Cu^{2+}(aq)/Cu(s)) = +0/34V$$

$$E^{\circ}(Zn^{2+}(aq)/Zn(s)) = -0/76V$$

۱) ۲۵ ،۶۰ ۲) ۵۰ ،۶۰ ۳) ۲۵ ،۸۰ ۴) ۵۰ ،۸۰

تحلیل سؤال

فلزاتی که E° آنها منفی باشد می‌توانند با محلول اسید واکنش دهند. این فلزات در سری الکتروشیمیایی پایین‌تر از هیدروژن قرار دارند.

بنابراین از بین دو فلز موجود در این آلیاژ فقط روی با هیدروکلریک اسید واکنش داده و گاز هیدروژن حاصل نیز فرآوردهٔ همین واکنش است.

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$$

جرم فلز روی موجود در آلیاژ را به کمک حجم گاز هیدروژن محاسبه می‌کنیم:

$$?g\,Zn = 2/24L\,H_2 \times \frac{1mol\,H_2}{22/4L\,H_2} \times \frac{1mol\,Zn}{1mol\,H_2} \times \frac{65g\,Zn}{1mol\,Zn} = 6/5g$$

بنابراین جرم فلز مس موجود در آلیاژ موردنظر برابر است با:

$$\text{جرم مس} = \text{جرم آلیاژ} - \text{جرم روی} = 32/5 - 6/5 = 26g$$

بنابراین:

$$\text{درصد جرمی مس} = \frac{\text{جرم مس}}{\text{جرم آلیاژ}} \times 100$$

$$\Rightarrow \%Cu = \frac{26}{32/5} \times 100 = 80$$

برای حل قسمت دوّم سؤال از روش کسر تناسب استفاده می‌کنیم:

$$\frac{\text{جرم (گرم)}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{حجم (لیتر)} \times \text{مولاریته}}{\text{ضریب}}$$

$$\frac{6/5}{1 \times 65} = \frac{4 \times V}{2} \Rightarrow V = 0/05L = 50mL$$

پاسخ تست: ۱ ۲ ۳ ۴

یـــادداشـــت

آ) نخست برای هر سلول گالوانی، آند و کاتد را مشخص کرده سپس emf را حساب کنید و در جای خالی بنویسید.

ب) اگر چند نیم سلول در اختیار داشته باشید و بخواهید از آنها یک سلول گالوانی با بیشترین ولتاژ بسازید، از کدام نیم‌سلول‌ها استفاده می‌کنید؟ چرا؟

۵ ـ با استفاده از جدول ۱، emf سلولی را حساب کنید که واکنش اکسایش ـ کاهش زیر در آن رخ می‌دهد.

$$3Mg(s) + 2Au^{3+}(aq) \rightarrow 3Mg^{2+}(aq) + 2Au(s)$$

با واکنش‌های اکسایش ـ کاهش و کاربرد آنها در ساخت سلول‌های گالوانی آشنا شدید. سلول‌هایی که می‌توانند به عنوان باتری، منبع تولید انرژی الکتریکی باشند. باید توجه داشت که هر باتری، ساختاری مناسب برای کاربردی معین دارد. در ادامه با برخی از آنها آشنا خواهید شد.

پیوند با زندگی

لیتیم، فلزی ارزشمند برای ذخیره انرژی الکتریکی

$_3Li: 1s^2 2s^1$

اگر به پیرامون خود توجه کنید وسایلی را می‌یابید که با باتری کار می‌کنند. ساعت مچی و تلفن همراه از جمله وسایلی هستند که انرژی الکتریکی آنها با استفاده از باتری تأمین می‌شود. باتری‌هایی که در شکل، اندازه و کارایی با یکدیگر تفاوت آشکاری دارند اما در همه آنها با انجام شدن نیم‌واکنش‌های آندی و کاتدی، جریان الکتریکی در مدار بیرونی برقرار می‌شود.

با رشد و پیشرفت چشمگیر صنایع گوناگون هر روز نیاز و تقاضا پیوسته برای ساخت باتری‌ها با ویژگی‌های گوناگون و کاربرد معین افزایش یافته است. شیمی‌دان‌ها در پی پاسخ به این نیازها طی پژوهش‌های بسیاری توانستند به فناوری ساخت باتری‌های جدید دست‌یابند. در این فناوری، نقش فلز لیتیم پررنگ است زیرا لیتیم در میان فلزها، کمترین چگالی و E° را دارد. این ویژگی‌های لیتیم سبب شد راه برای ساخت باتری‌های سبک‌تر، کوچک‌تر و با توانایی ذخیره بیشتر انرژی هموار شود. باتری‌های لیتیمی از نوع دگمه‌ای در شکل‌ها و اندازه‌های گوناگون به‌کار می‌رود. دسته‌ای دیگر از باتری‌های لیتیمی آنهایی هستند که در تلفن و رایانه همراه به کار می‌روند و می‌توان آنها را بارها شارژ کرد (شکل ۹).

باتری‌های لیتیمی: باتری دگمه‌ای، باتری‌های قابل شارژ

آیا می‌دانید

در هر تن از نمک دریاچه قم، بیش از ۲۰۰ گرم لیتیم وجود دارد.

آیا می‌دانید

مقدار فلزهای موجود در ۵۰۰ میلیون تلفن همراه به شرح زیر است.

نام فلز	مقدار (تن)
مس	۷۹۰۰
نقره	۱۷۸
طلا	۱۷
پالادیم	۷/۴
پلاتین	۰/۱۸

آیا می‌دانید

با بازیافت باتری‌ها می‌توان حجم انبوهی از فلزهای گوناگون را به چرخه مصرف برگرداند. جدول زیر مصرف سالانه فلزها برای تولید باتری در جهان را نشان می‌دهد.

نام فلز	مقدار (کیلوتن)
کبالت	۱۳
لیتیم	۳۰
نیکل	۱۵۰
منگنز	۵۲۰۰
پلاتین	۰/۱۸

شکل ۹ـ نمونه‌هایی از باتری‌های لیتیمی

افزایش تقاضا برای باتری‌های لیتیمی، سبب شد این فلز جایگاه ممتازی در تأمین انرژی جهان پیدا کند به‌طوری که سالانه از میلیاردها باتری لیتیمی درون دستگاه‌های الکترونیک در سرتاسر جهان استفاده می‌شود و سرانجام این دستگاه‌ها به همراه باتری‌های درون خود به شکل پسماند دور ریخته می‌شوند. به این ترتیب حجم انبوهی از پسماندهای الکترونیکی مانند تلفن و رایانه همراه، باتری‌های لیتیمی و... تولید می‌شود. این پسماندها به دلیل داشتن مواد شیمیایی گوناگون، سمی هستند و نباید در طبیعت رها یا دفن شوند زیرا محیط زیست را آلوده می‌کنند. از سوی دیگر برخی از این پسماندها به دلیل داشتن مقدار قابل توجهی از مواد و فلزهای ارزشمند و گران‌قیمت، منبعی برای بازیافت این مواد هستند.

گالوانی محسوب می‌شود — از واکنش کنترل شده O_2 با سوخت در آن استفاده می‌شود — جریان برق با میزان آلودگی زیست محیطی کمتر

سلول سوختی، منبعی برای تولید انرژی سبز

سوخت‌های فسیلی رایج‌ترین سوخت برای خودروها و نیروگاه‌ها به شمار می‌روند. ازاین رو استخراج و مصرف بی‌رویهٔ این سوخت‌ها سبب شده تا از ذخایر آنها به سرعت کاسته شود. از سوی دیگر گسترش روزافزون آلودگی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، جهان را با چالشی نگران‌کننده روبه‌رو کرده است. با این توصیف، یافتن جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی به ویژه در خودروها ضروری است. **سلول سوختی**[1] نوعی سلول گالوانی است که شیمی‌دان‌ها برای گذر از این تنگنای تأمین انرژی و کاهش آلودگی محیط‌زیست پیشنهاد می‌دهند. این سلول‌ها افزون بر کارایی بیشتر می‌توانند ردپای کربن‌دی‌اکسید را کاهش دهند به‌طوری که دوستدار محیط زیست بوده و منبع انرژی سبز به شمار می‌روند.

برق تولید می‌کند.

توجه کنید که کاهش می‌دهند نه اینکه به‌طور کامل از بین ببرند.

۱ـ Fuel Cell

آیا می‌دانید

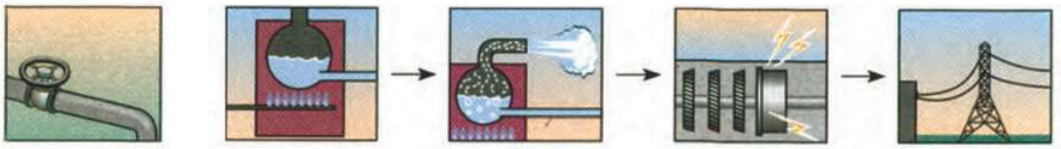
درسال ۱۸۳۹ ویلیام گرو فیزیک‌دان و روزنامه‌نگار انگلیسی اصول کار سلول سوختی را کشف کرد. اما تولید سلول سوختی به سال ۱۸۸۹ توسط لودویک‌مند و چارلز لنجر برمی‌گردد. از سال ۱۹۶۰ ناسا از سلول‌های سوختی در سفینه‌های جیمینی و آپولو برای تهیهٔ الکتریسیته و آب مورد نیاز فضانوردان استفاده کرد. در دههٔ هفتاد میلادی فناوری سلول سوختی در وسایل خانگی و خودروها به‌کار گرفته شد. از دههٔ هشتاد به بعد شرکت بالارد کانادا زیردریایی مجهز به سلول سوختی را ساخت. پهپاد سلول سوختی در سال ۲۰۰۰ با نیروی محرکهٔ دوگانه (باتری خورشیدی و سلول سوختی) با توان شش ماه پرواز به بهره برداری رسید.

خود را بیازمایید

در هر یک از روش‌های زیر مراحل تبدیل انرژی شیمیایی موجود در یک سوخت به انرژی الکتریکی نشان داده شده است. با توجه به آن به پرسش‌ها پاسخ دهید.

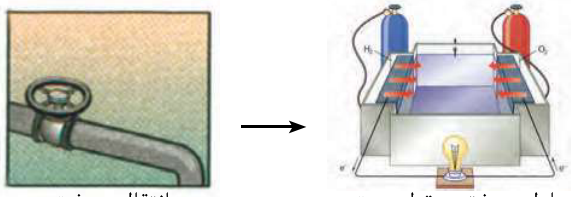
تعداد مراحل در این روش زیاد است و در هر مرحله نیز شاهد اتلاف انرژی مخصوصاً به شکل گرما هستیم.

روش ۱



روش ۲

در این روش (استفاده از سلول سوختی) تعداد مراحل کم است و سوخت به صورت نسبتاً مستقیم وارد مرحلهٔ تولید برق می‌شود. اتلاف انرژی در این روش بسیار کمتر از روش (۱) است.



آ) در کدام روش اتلاف انرژی به شکل گرما بیشتر است؟ چرا؟

ب) کدام روش کارایی بالاتری دارد؟ توضیح دهید.

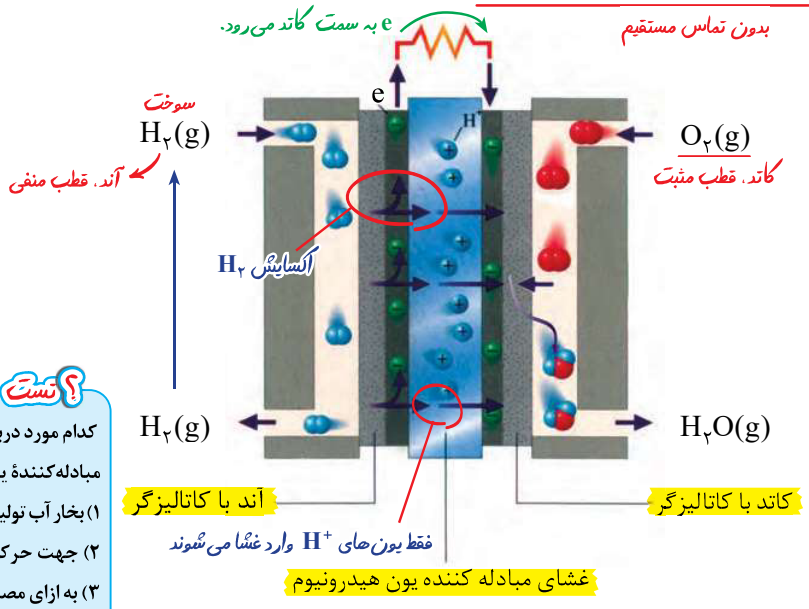
سوخت، کاهنده، قطب منفی، آند — اکسنده، قطب مثبت، کاتد

پس انواع دیگری هم دارد

رایج‌ترین سلول سوختی، سلول هیدروژن ـ اکسیژن است. دستگاهی که در آن گاز هیدروژن با گاز اکسیژن به صورت کنترل شده واکنش می‌دهد و بخش قابل توجهی از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود (شکل ۱۰).

بدون تماس مستقیم

e به سمت کاتد می‌رود.



شکل ۱۰ ـ نوعی سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن

- سوزاندن گاز هیدروژن در موتور درون‌سوز، بازدهی نزدیک به ۲۰ درصد دارد در حالی که اکسایش آن در سلول سوختی بازده را تا سه برابر (حدود ۶۰ درصد) افزایش می‌دهد. (ریاضی ۱۴۰۰)

آیا می‌دانید

- در برخی از دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور، پژوهش‌های خوبی روی سلول‌های سوختی انجام شده و موفقیت‌هایی نیز به دست آمده است. تولید توده سلول سوختی در دانشگاه شهید رجایی نمونه‌ای از آنهاست.

تست

کدام مورد دربارهٔ سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن با غشای مبادله‌کنندهٔ یون هیدرونیوم، درست است؟ (خارج، تجربی ۹۸)

۱) بخار آب تولیدشده از بخش آندی خارج می‌شود.

۲) جهت حرکت یون هیدرونیوم از غشا، از آند به کاتد است.

۳) به ازای مصرف هر مول گاز اکسیژن، دو مول یون هیدرونیوم در غشا مبادله می‌شود.

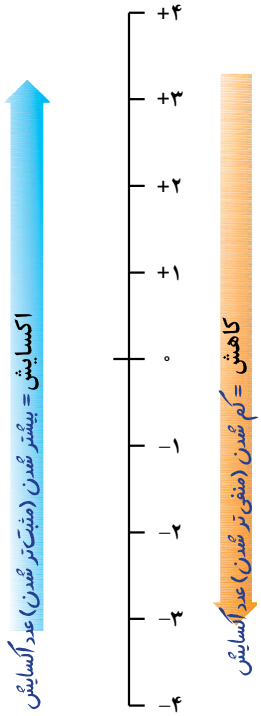
۴) جهت حرکت الکترون‌ها در مدار بیرونی با جهت حرکت‌های H^+ در غشا عکس یکدیگر است.

پاسخ: گزینه (۲)

آیا می‌دانید

مهندسان و پژوهشگران کشور در چند دانشگاه نمونه‌هایی از خودروهای برقی را طراحی کرده و ساخته‌اند این خودرو از طریق ترکیب هیدروژن و اکسیژن در سلول سوختی، انرژی خود را تأمین می‌کند. همچنین در این خودرو یک باتری شارژی وجود دارد.

این بازه از ٤- تا ٤+ را می‌توان به کربن اختصاص داد.



● افزایش عدد اکسایش به معنای از دست دادن الکترون و فرایند اکسایش است درحالی‌که کاهش آن به معنای به‌دست آوردن الکترون و فرایند کاهش است. این نمودار گسترهٔ عدد اکسایش در گروه ۱۴ را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که شکل ۱۰ نشان می‌دهد هر سلول سوختی سه جزء اصلی دارد به‌طوری که شامل یک غشا، الکترود آند و الکترود کاتد است. در این سلول، آند و کاتد دارای کاتالیزگرهایی هستند که به نیم واکنش‌های اکسایش و کاهش سرعت می‌بخشند. واکنش کلی در چنین سلولی به‌صورت زیر است:

نیم‌واکنش کاتدی: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ (محیط اسیدی)

نیم‌واکنش آندی: $2H_2(g) \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

واکنش کلی: $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$

جریان سوخت باید به‌طور مستمر وارد سلول شود. یعنی قابلیت ذخیره سوخت در سلول سوختی وجود ندارد.

از عملکرد این سلول پیداست که گاز هیدروژن به عنوان سوخت پیوسته وارد شده، اکسایش می‌یابد و هم‌زمان با آن گاز اکسیژن در واکنش با سوخت کاهش می‌یابد. روندی که در معادله واکنش دیده نمی‌شود زیرا همه گونه‌های شرکت کننده در واکنش، مولکول‌های خنثی هستند و شمار الکترون‌های ظرفیت اتم‌ها در واکنش تغییر نمی‌کند. به راستی در واکنش‌هایی از این دست چگونه می‌توان گونه‌های اکسنده و کاهنده را مشخص کرد؟ شیمی‌دان‌ها با معرفی **عدد اکسایش**[1] راه حل مناسبی برای حل این مشکل ارائه کردند.

با هم بیندیشیم

۱ ـ با توجه به واکنش کلی سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

آ) ساختار الکترون ـ نقطه‌ای گونه‌های شرکت کننده را رسم کنید.

H_2	O_2	H_2O
H — H	:Ö=Ö:	H–O–H

ب) در هر ساختار:

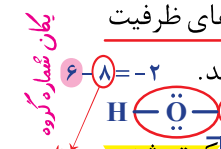
● به ازای هر جفت الکترون پیوندی میان دو اتم یکسان، یک الکترون به هر اتم نسبت دهید.

● همه الکترون‌های ناپیوندی روی هر اتم را به همان اتم نسبت دهید.

● به ازای هر جفت الکترون پیوندی میان دو اتم متفاوت، هر دو الکترون را به اتم با خصلت نافلزی بیشتر نسبت دهید.

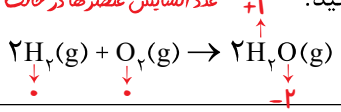
آکسیژن نافلزتر از هیدروژن است. پس جفت الکترون پیوندی را به آکسیژن اختصاص می‌دهیم.

پ) الکترون‌های نسبت داده شده به هر اتم را بشمارید و آن را از شمار الکترون‌های ظرفیت همان اتم کم کنید. عدد به دست آمده عدد اکسایش اتم مورد نظر را نشان می‌دهد.



۲ـ هرگاه بدانید که بیشتر شدن عدد اکسایش، نشان‌دهنده اکسایش یافتن و کمتر شدن آن نشان دهنده کاهش یافتن اتم‌هاست، در واکنش زیر گونه‌های اکسایش یافته، کاهش یافته، اکسنده و کاهنده را مشخص کنید.

عدد اکسایش عنصرها در حالت آزاد صفر است.



۱ـ Oxidation Number

۳ـ دانش‌آموزی نیم‌واکنش‌های انجام شده در نوعی سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن را به‌صورت زیر از منابع علمی معتبر استخراج کرده است.

کاتد: $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$ $\quad E^\circ = +1/23\ V$

$2H_2(g) \longrightarrow 4H^+(aq) + 4e^-$ $\quad E^\circ = 0/00\ V$

نکته

در سلول سوختی هیدروژن، emf سلول با E° یکی از گونه‌ها (کاتد) برابر است. دلیل این موضوع مقدار E° در بخش آند این سلول است.

آ) هر یک از نیم واکنش‌ها را موازنه کنید سپس واکنش کلی سلول را به دست آورید.

ب) emf این سلول را حساب کنید. $emf = 1/23 - 0 = +1/23\ Volt$

۴ـ با پیشرفت علم و فناوری، سلول‌های سوختی تازه‌ای طراحی شده‌اند که در آنها به جای گاز خطرناک هیدروژن، گاز متان مصرف می‌شود. با توجه به معادله واکنش کلی زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید. (ارزان‌تر و ایمن‌تر ولی آلاینده محیط زیست)

$$\overset{-4}{CH_4}(g) + 2O_2(g) \rightarrow \overset{+4}{CO_2}(g) + 2\overset{-2}{H_2O}(g)$$

(۸ درجه اکسایش)

آ) با تعیین عدد اکسایش اتم‌ها، گونه‌های اکسنده و کاهنده را مشخص کنید. (کاهنده)

ب) از دید محیط زیست گاز هیدروژن چه مزیتی نسبت به گاز متان دارد؟ گاز آلاینده (گلخانه‌ای) CO_2 در سلول سوختی هیدروژن تولید نمی‌شود.

با تعیین عدد اکسایش اتم‌ها در یک گونه شیمیایی آشنا شدید. برای نمونه عدد اکسایش هیدروژن و اکسیژن به حالت آزاد (عنصر آزاد) برابر با صفر است. از این رو عدد اکسایش دیگر عنصرها نیز به حالت آزاد مانند Fe، Mg و Cl_2 برابر با صفر خواهد بود. در حالی که عدد اکسایش یون‌های تک اتمی برابر با بار الکتریکی آنهاست. برای نمونه عدد اکسایش یون O^{2-} اکسید و یون Ca^{2+} کلسیم در CaO به ترتیب برابر با ۲- و ۲+ است. همچنین دریافتید که با تغییر عدد اکسایش اتم‌ها در یک واکنش می‌توان گونه‌های اکسنده و کاهنده را تعیین کرد. روشی که به کمک آن می‌توان واکنش اکسایش ـ کاهش را از دیگر واکنش‌ها تشخیص داد.

اغلب نافلزها و فلزهای واسطه عدد اکسایش گوناگونی در ترکیب‌های خود دارند. برای نمونه عدد اکسایش آهن در $FeCl_2$ و $FeCl_3$ به ترتیب ۲+ و ۳+ است. به همین دلیل این ترکیب‌ها را آهن (II) کلرید و آهن (III) کلرید می‌نامند. همچنین عدد اکسایش اتم گوگرد در SO_2 و SO_3 به ترتیب ۴+ و ۶+ است. (چرا؟)

$SO_2 : S + (2\times -2) = 0$

$SO_3 : S + (3\times -2) = 0$

خود را بیازمایید

۱ـ در هر مورد با تعیین عدد اکسایش مشخص کنید که آن اتم اکسایش یا کاهش یافته است؟

آ) $Cu^{2+}(aq) \rightarrow Cu(s)$ (۲ درجه کاهش)

ب) $Cr^{2+}(aq) \rightarrow Cr^{3+}(aq)$ (۱ درجه اکسایش)

پ) $C(s) \rightarrow CO(g)$ (۲ درجه اکسایش)

ت) $NH_3(g) \rightarrow N_2(g)$ (۳ درجه اکسایش)

یادآوری

آهن در واکنش با اسیدها همواره از عدد اکسایش کمتر خود یعنی ۲+ استفاده می‌کند.

۲ـ در هر یک از واکنش‌های زیر با محاسبه تغییر عدد اکسایش، گونه کاهنده و اکسنده را تعیین کنید.

آ) $2Al(s) + Fe_2O_3(s) \rightarrow Al_2O_3(s) + 2Fe(s)$ (واکنش ترمیت (البته آهن در واکنش ترمیت حالت فیزیکی مایع دارد))

(در این واکنش عدد اکسایش اتم اکسیژن تغییر نکرده)

ب) $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)$ (کاهنده: CO، اکسنده: O_2)

(۲ درجه کاهش، ۲ درجه اکسایش)

اینک می‌پذیرید که برای تأمین انرژی الکتریکی می‌توان از واکنش‌های اکسایش ـ کاهش در سلول‌های گالوانی مانند باتری‌ها و سلول‌های سوختی بهره برد. با اینکه سلول‌های سوختی برخلاف باتری‌ها، انرژی شیمیایی را ذخیره نمی‌کنند اما در آنها نیز پیوسته سوخت در شرایط کنترل شده، مصرف و جریان الکتریکی برقرار می‌شود. یکی از چالش‌هایی که در کاربرد سلول‌های سوختی هیدروژن ـ اکسیژن خودنمایی می‌کند، تأمین سوخت آنهاست. آیا با استفاده از دانش الکتروشیمی می‌توان راهی برای تولید گاز هیدروژن یافت؟

مهم

برقکافت آب، راهی برای تولید گاز هیدروژن

نوعی واکنش شیمیایی است که به کمک آن و با استفاده از جریان الکتریسیته می‌توان شاهد انجام واکنش دلخواه درون محیط محلول باشیم.

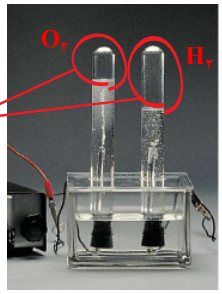
تاکنون با سلول‌هایی آشنا شدید که در آنها با انجام واکنش‌های اکسایش ـ کاهش انرژی تولید می‌شود. نوع دیگری از سلول‌های الکتروشیمیایی وجود دارند که با اعمال یک ولتاژ بیرونی و عبور جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت می‌توان یک واکنش شیمیایی را در خلاف جهت طبیعی (غیرخودبه‌خودی) پیش راند.

خودبه‌خودی (سلول گالوانی)

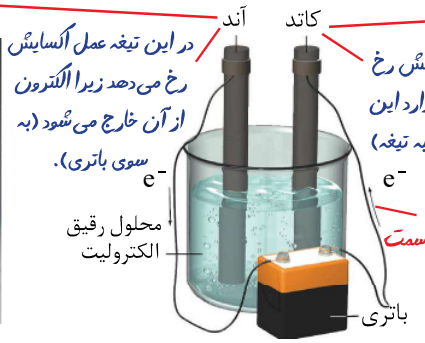
این سلول‌ها به **سلول‌های الکترولیتی**[1] معروف هستند و **برقکافت**[2] آب یک نمونه از واکنش‌هایی است که در آنها انجام می‌شود (شکل ۱۱).

در یک سلول الکترولیتی، برخلاف سلول گالوانی، کاتد دارای علامت منفی است (قطب منفی) زیرا این تیغه به قطب منفی باتری وصل است و الکترون زودتر از آن عبور می‌کند. (در مقایسه با آند)

در یک سلول الکترولیتی، برخلاف سلول گالوانی، آند علامت مثبت دارد (قطب مثبت سلول است.)



حجم گاز O_2 تولیدشده نصف H_2 است (به حجم فضای بالای مایع هر لوله توجه کنید). O_2 و H_2 به‌ترتیب فراورده‌های آند (قطب مثبت) و کاتد (قطب منفی) سلول هستند.



شکل ۱۱ـ تجزیه آب به گازهای هیدروژن و اکسیژن با مصرف انرژی الکتریکی

- آب خالص رسانایی الکتریکی ناچیزی دارد از این رو برای برقکافت آن باید اندکی الکترولیت به آب افزود. (اندکی اسید یا نمک)

خود را بیازمایید

نیم واکنش‌های انجام شده در سلول الکترولیتی هنگام برقکافت آب به صورت زیر است:

نیم‌واکنش آندی (قطب مثبت) $2H_2O(l) \longrightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e$

اطراف آند محیط اسیدی است.

نیم‌واکنش کاتدی (قطب منفی) $2e + 2H_2O(l) \longrightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

اطراف کاتدی محیط بازی است.

آ) با وارد کردن نماد الکترون در هر نیم واکنش مشخص کنید کدام نیم واکنش، آندی و کدام کاتدی است؟

(برای نوشتن واکنش کلی باید دو نیم‌واکنش، هم‌الکترون شوند)

ب) هر یک از نیم واکنش‌ها را موازنه کنید و معادله کلی واکنش را به‌دست آورید.

پ) پیش‌بینی کنید کاغذ pH در محلول پیرامون آند و کاتد به چه رنگی درمی‌آید؟ چرا؟

اسیدی — بازی

معادلهٔ کلی واکنش برقکافت آب به‌صورت $2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$ است و در این واکنش ۴ مول الکترون مبادله می‌شود.

فراوردهٔ آند — فراوردهٔ کاتد

تست

در یک سلول ..... با انجام یک واکنش اکسایش ـ کاهش ..... الکترون‌ها در مدار بیرونی از ..... به سوی ..... می‌روند.

(خارج، ریاضی ۹۷)

۱) گالوانی، غیرخودبه‌خودی، کاتد، آند

۲) الکترولیتی، غیرخودبه‌خودی، کاتد، آند

۳) گالوانی، خودبه‌خودی، قطب منفی، قطب مثبت

۴) الکترولیتی، خودبه‌خودی، قطب مثبت، قطب منفی

پاسخ: گزینه (۳)

۱۶. اگر در سلول سوختی به جای هیدروژن از سوخت ارزان‌تر و کم‌خطرتری مانند متان استفاده شود، برای عبور همان شمار الکترون ناشی از مصرف یک مول هیدروژن از مدار، چند گرم متان باید مصرف شود؟ $(C=12, H=1: g.mol^{-1})$ (ریاضی ۹۴)

۱) ۴ ۲) ۸ ۳) ۱۶ ۴) ۳۲

تحلیل سؤال

درسلول سوختی هیدروژن – اکسیژن واکنش کلی زیر انجام شده و به ازای ضرایب استوکیومتری مواد، چهار مول e مبادله می‌شود.

I) $2H_2(g)+O_2 \rightarrow 2H_2O \sim 4mole$

واکنش کلی انجام‌شده در سلول سوختی متان (همان واکنش سوختن متان) به‌صورت زیر است، در این واکنش ۸ مول الکترون به ازای ضرایب مبادله می‌شود.

II) $CH_4+2O_2 \rightarrow CO_2+2H_2O \sim 8mole^-$

-4 $+4$

در واکنش (I) به ازای مصرف دو مول هیدروژن، چهار مول الکترون مبادله می‌شود. بنابراین به ازای یک مول گاز هیدروژن دو مول الکترون مبادله شده است. بنابراین:

$$?gCH_4=2mole^- \times \frac{1molCH_4}{8mole^-} \times \frac{16gCH_4}{1molCH_4}=4gCH_4$$

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۱۷. اگر الکترون‌های آزادشده از اکسایش ۸۰ گرم فلز در نیم‌واکنش آندی: $Fe^{2+}(aq)+Cu(s) \rightarrow Fe^{3+}(aq)+Cu^{2+}(aq)$، در نیم‌واکنش کاتدی سلول سوختی هیدروژن ـ اکسیژن مصرف شود، چند لیتر گاز اکسیژن (در شرایط STP) مصرف و چند گرم آب تولید می‌شود؟ $(H=1, O=16, Fe=56, Cu=64: g.mol^{-1})$ (معادلهٔ واکنش موازنه شود) (خارج، ریاضی ۹۹)

۱) ۱۱/۲۵ ، ۷ ۲) ۲۲/۵ ، ۷

۳) ۱۱/۲۵ ، ۱۴ ۴) ۲۲/۵ ، ۱۴

تحلیل سؤال

معادلهٔ موازنه‌شدهٔ واکنش موردنظر به‌صورت زیر است. در ضمن به ازای ضرایب استوکیومتری مواد تعداد ۲ مول الکترون دادوستد شده است.

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

الکترون‌های حاصل از اکسایش ۸۰ گرم فلز مس که آند این سلول را تشکیل داده را محاسبه می‌کنیم. توجه کنید که $Cu(s)$ با اکسایش یافتن به Cu^{2+} تبدیل شده است.

$$?mol\ e=80gCu \times \frac{1molCu}{64gCu} \times \frac{2mole}{1molCu}=2/5mol$$

نیم‌واکنش کاتدی سلول سوختی هیدروژن:

$O_2(g)+4H^+(aq)+4e^- \rightarrow 2H_2O(g)$ است که در آن به ازای مصرف یک مول گاز اکسیژن، چهار مول الکترون مصرف می‌شود. بنابراین:

$$?LO_2=2/5mole^- \times \frac{1molO_2}{4mole^-} \times \frac{22/4L}{1molO_2}=14LO_2$$

واکنش کلی سلول سوختی هیدروژن نیز:

$2H_2(g)+O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ است.

$$?gH_2O=2/5\ mole^- \times \frac{2molH_2O}{4mole^-} \times \frac{18gH_2O}{1molH_2O}=22/5gH_2O$$

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۱۸. چند مورد از مطالب زیر درست است؟ (ریاضی ۱۴۰۰)

$E°[Mn^{2+}(aq)/Mn(s)]=-1/18V$

$E°[Pt^{2+}(aq)/Pt(s)]=+1/20V$

- اکسایش هیدروژن در سلول سوختی، بازدهی نزدیک به ۶۰ درصد دارد.
- در واکنش انجام‌شده درسلول گالوانی، فراورده‌ها از واکنش‌دهنده‌ها پایدارترند.
- در سلول گالوانی «منگنز ـ پلاتین»، در الکترود منگنز، عمل اکسایش انجام می‌گیرد .
- در هر واکنش اکسایش ـ کاهش، اتم‌های فلزی اکسایش و یون‌های فلزی کاهش می‌یابند.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تحلیل سؤال

بررسی ذره‌بینی عبارت‌ها:

عبارت اوّل: درست. این عبارت مربوط به کتاب درسی است.

عبارت دوّم: درست. واکنش انجام‌شده در یک سلول گالوانی گرماده است و همان‌طور که می‌دانید در یک واکنش گرماده، سطح انرژی فرآورده‌ها پایین‌تر ازمواد اولیه بوده و پایدارتر هستند.

عبارت سوّم: درست. با توجه به مقادیر پتانسیل الکترودی این دو نیم‌سلول، الکترود منگنز که $E°$ منفی دارد آند بوده و در آن عمل اکسایش رخ می‌دهد.

عبارت چهارم: نادرست. اینکه یک اتم فلزی (خنثی) فقط اکسایش می‌یابد کاملاً درست است ولی برخی یون‌های فلزی هم می‌توانند اکسایش هم پیدا کنند. مثل: $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}+e^-$

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

ضمیمه شماره (۱) ضمیمه شماره (۲) ضمیمه شماره (۳) ضمیمه شماره (۴) ضمیمه شماره (۵)

۱۹. اتم نیتروژن در کدام دو ترکیب، به‌ترتیب (از راست به چپ)، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عدد اکسایش را دارد؟ (ریاضی ۹۰)

۱) $NaNO_2 - HNO_3$ ۲) $N_2O - N_2O_5$

۳) $NH_4OH - NaNO_2$ ۴) $NO - NH_4Cl$

تحلیل سؤال

به قوانین مهمّ زیر دربارهٔ عدد اکسایش توجه کنید:

- عدد اکسایش عنصرها در حالت آزاد (Na، F_2، O_2، P_4 و ...) صفر است.
- عدد اکسایش یک یون تک‌اتمی برابر با بار یون است.
- مجموع اعداد اکسایش اتم‌های یک ترکیب برابر با بار الکتریکی آن است. بدیهی است که برای یک ترکیب خنثی، مجموع اعداد اکسایش گونه‌ها برابر صفر است.

$H_3PO_4 : (3\times H) + (1\times P) + (4\times O) = 0$

$PO_4^{3-} : (1\times P) + (4\times O) = -3$

- عدد اکسایش هیدروژن همواره ۱+ است به جز در حالت آزاد (صفر است) و در هیدریدهای فلزی (ترکیب فلز گروه ۱ و ۲ با هیدروژن) که ۱- است.

$\overset{+1}{Na}\overset{-1}{H}$

- عدد اکسایش فلوئور در ترکیب‌های آن همواره ۱- است. (در حالت آزاد، صفر است)
- دامنهٔ تغییر عدد اکسایش اکسیژن [۲+ , ۲-] است. توجه کنید که در ترکیب‌ها معمولاً و غالباً عدد اکسایش این عنصر ۲- است به جز:
  - در پراکسیدها (O_2^{2-}) مانند هیدروژن پراکسید که ۱- است.
  - در HOF، صفر است.

$\overset{+1}{H}\overset{0}{O}\overset{-1}{F}$

- در OF_2 برابر با حداکثر عدد اکسایش این عنصر یعنی ۲+ است.

$\overset{+2}{O}\overset{-1}{F_2}$

- عدد اکسایش فلزات همواره مثبت و حداقل صفر است.

برای فلزات گروه ۱ تا ۷، حداکثر (و بعضاً تنها) عدد اکسایش، همان شمارهٔ گروه عنصر است. مثلاً منگنز در گروه ۷ قرار دارد و بزرگ‌ترین عدد اکسایش این عنصر ۷+ است.

- عنصرهایی که فقط یک عدد اکسایش دارند را خوب به‌خاطر بسپارید.

$Al: +3$ $Zn: +2$ $Sc: +3$ $Ag: +1$

۱+: فلزات گروه ۱ ۲+: فلزات گروه ۲

- نافلزات (C، P، N، S و ...) دارای یک بازهٔ عدد اکسایش (منفی تا مثبت) هستند که:

(یکان شمارهٔ گروه) + = حداکثر عدد اکسایش

۱۸- شمارهٔ گروه = حداقل عدد اکسایش

مثال حداقل و حداکثر عدد اکسایش عنصر نیتروژن از گروه ۱۵، برابر ۳- و ۵+ است.

- عناصر (نافلزات) با حداقل عدد اکسایش خود فقط می‌توانند کاهنده و با حداکثر عدد اکسایش خود فقط می‌توانند اکسنده باشند.

با توجه به توضیحات بالا، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عدد اکسایش نیتروژن ۵+ و ۳- است.

به بررسی گزینه‌ها توجه کنید:

گزینهٔ (۱)
$HNO_3 \xrightarrow[O=-2]{H=+1} N = +5$
$NaNO_2 \xrightarrow[O=-2]{Na=+1} N = +3$

گزینهٔ (۲)
$N_2O \xrightarrow{O=-2} (2\times N) + (1\times -2) = 0 \Rightarrow N = +1$
$N_2O_5 \xrightarrow{O=-2} (2\times N) + (5\times -2) = 0 \Rightarrow N = +5$

گزینهٔ (۳)
$NaNO_2 \xrightarrow[O=-2]{Na=+1} N = +5$
$NH_4OH \xrightarrow[O=-2]{H=+1} N = -3$

گزینهٔ (۴)
$NH_4Cl \xrightarrow[Cl=-1]{H=+1} (1\times N) + (4\times +1) + (-1\times Cl) = 0$
$\Rightarrow N = -3$
$NO \Rightarrow N = +2$

پاسخ تست ۱ ۲ **۳** ۴

۲۰. اتم مرکزی تشکیل‌دهندهٔ یون ..... در گروه ..... جدول تناوبی جای دارد و عدد اکسایش آن با عدد اکسایش اتم کلر در یون ..... برابر است. (تجربی ۹۹)

۱) SO_3^{2-}، ۱۶، ClO_4^- ۲) SO_4^{2-}، ۱۶، ClO_4^-

۳) PO_3^{3-}، ۱۵، ClO_3^- ۴) AsO_4^{3-}، ۱۵، ClO_3^-

تحلیل سؤال

نگاه دقیق به قسمت اوّل و دوم نشان می‌دهد که کار چندانی از این دو قسمت برنمی‌آید چرا که عنصرهای S، P و As به‌ترتیب در گروه‌های ۱۶، ۱۵ و ۱۵ جدول قرار دارند ولی محاسبهٔ عدد اکسایش اتم مرکزی در آنها واجب است.

$SO_3^{2-} \xrightarrow{O=-2} (1\times S) + (3\times -2) = -2 \rightarrow S = +4$

$SO_4^{2-} \xrightarrow{O=-2} S = +6$

$PO_3^{3-} \xrightarrow{O=-2} P = +3$

$AsO_4^{3-} \xrightarrow{O=-2} (1\times As) + (4\times -2) = -3 \rightarrow As = +5$

عدد اکسایش اتم کلر در چهار یون موجود در قسمت سوّم گزینه‌ها را نیز محاسبه می‌کنیم. (البته دو تا یون بیشتر نیستند)

$ClO_4^- \xrightarrow{O=-2} (1\times Cl) + (4\times -2) = -1 \rightarrow Cl = +7$

$ClO_3^- \xrightarrow{O=-2} Cl = +5$

با توجه به موارد فوق می‌توان گفت که As در گروه ۱۵ قرار دارد و عدد اکسایش آن در یون AsO_4^{3-} با عدد اکسایش کلر در یون کلرات (ClO_3^-) برابر است.

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ **۴**

۲۱. اگر دو نافلز X و A، با بالاترین عدد اکسایش خود، آنیون‌های پایداری با فرمول XO_4^- و AO_3^{2-} تشکیل دهند، چند مورد از مطالب زیر، دربارهٔ آنها درست است؟ (خارج، تجربی ۹۹)

- A عنصری از گروه ۱۵ است.
- عنصر A، می‌تواند در دورهٔ دوم جدول تناوبی جای داشته باشد.
- عنصر X، با اکسنده‌ترین عنصر در جدول تناوبی، هم‌گروه است.
- در آخرین زیرلایهٔ اشغال‌شدهٔ اتم X، ۵ الکترون و اتم A، دو الکترون جای دارد.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تحلیل سؤال

عدد اکسایش عنصرهای نافلزی X و A در یون‌های XO_4^- و AO_3^{2-} را محاسبه می‌کنیم تا بدانیم که بالاترین عدد اکسایش این اتم‌ها که یکان شماره گروه این نافلزها نیز هست، چقدر است.

$$XO_4^- \xrightarrow{O=-2} (1\times X)+(4\times -2)=-1 \quad (\text{گروه } 17) \Rightarrow X=+7$$

$$AO_3^{2-} \xrightarrow{O=-2} (1\times A)+(3\times -2)=-2 \quad (\text{گروه } 14) \Rightarrow A=+4$$

بررسی عبارت‌ها:

عبارت اوّل: نادرست. A عنصری از گروه ۱۴ است.

عبارت دوّم: درست. A، عنصر کربن (دورهٔ دوّم و گروه چهاردهم) و یون AO_3^{2-} نیز یون کربنات (CO_3^{2-}) است.

عبارت سوّم: درست. اکسنده‌ترین عنصر جدول، فلوئور بوده که در گروه ۱۷ قرار دارد.

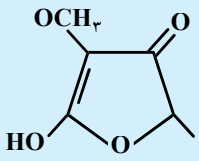
عبارت چهارم: درست. عنصرهای گروه ۱۴ و ۱۷ در آخرین زیرلایهٔ خود (زیرلایهٔ p) به‌ترتیب ۲ و ۵ الکترون دارند.

$$X: 1s^2 \ldots ns^2 np^5$$

$$A: 1s^2 \ldots ns^2 np^2$$

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

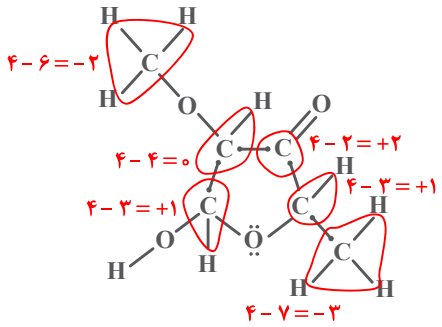
۲۲. چند نوع اتم کربن، برپایهٔ تفاوت عدد اکسایش، در ترکیبی با فرمول «پیوند ـ خط» زیر وجود دارد؟ (تجربی ۱۴۰۰)



۱) ۳
۲) ۴
۳) ۵
۴) ۶

تحلیل سؤال

ترکیب موردنظر را به‌شکل زیر درآورده و عدد اکسایش اتم‌های کربن را بر روی آن مشخص می‌کنیم. رساندن کربن‌ها به آرایش هشت‌تایی توسط اتم هیدروژن فراموش نشود.



می‌بینید که پنج نوع کربن (بر حسب عدد اکسایش) شامل ۳-، ۲-، ۰، ۱+ و ۲+ در ترکیب موردنظر وجود دارد.

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۲۳. در واکنش سوختن کامل استون، مجموع تغییر عددهای اکسایش اتم‌های کربن کدام است؟ (ریاضی ۹۵)

۱) ۱۲ ۲) ۱۴ ۳) ۱۶ ۴) ۱۸

تحلیل سؤال

استون (پروپانون) ساده‌ترین و کوچک‌ترین کتون بوده و فرمول مولکولی آن C_3H_6O است. معادلهٔ واکنش سوختن کامل آن به‌صورت زیر است:

$$\overset{3C=-4}{\overset{\text{۱۶ درجه اکسایش}}{C_3H_6O}} + 4CO_2 \rightarrow \overset{3C=+12}{3CO_2} + 3H_2O$$

(-۲ روی C_3H_6O، -۴ روی $3CO_2$، +۶ زیر C_3H_6O، +۴ زیر $3CO_2$)

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۲۴. مجموع ضریب‌های a، b، c، d و f در نیم‌واکنش زیر، پس از موازنه کدام است؟ (تجربی ۹۴)

$$a\ Mn^{2+}(aq) + b\ H_2O(l) \rightarrow c\ MnO_2(s) + d\ H^+(aq) + f\ e^-$$

۱) ۱۰ ۲) ۱۱ ۳) ۱۲ ۴) ۱۳

تحلیل سؤال

برای موازنهٔ یک نیم‌واکنش (در آن شاهد حضور e در سمت راست یا چپ واکنش هستید) به گونهٔ زیر عمل می‌کنیم:

۱- ابتدا برحسب نوع نیم‌واکنش (اکسایش یا کاهش) عنصر کاهنده (اکسیدشده) یا اکسنده (کاهش یافته) را تعیین کنید.

۲- تعیین ضریب e در نیم‌واکنش. برای این کار عنصر اکسنده یا کاهنده را انتخاب و از رابطهٔ زیر استفاده کنید:

تغییر عدد اکسایش آن × بزرگ‌ترین زیروند گونهٔ اکسنده یا کاهنده = ضریب e

۳- موازنه جرم (به غیر از هیدروژن و اکسیژن)

۴- موازنهٔ بار، به این صورت که مجموع بار الکتریکی دو سمت باید مشابه باشد.

۵- موازنهٔ هیدروژن و اکسیژن

در این نیم‌واکنش اکسایش (الکترون در سمت راست قرار دارد) عدد اکسایش هیدروژن و اکسیژن تغییری نداشته بنابراین عنصرهای اکسیژن و هیدروژن نه اکسنده و نه کاهنده‌اند، پس فورشه !!!... منگنز.

$$\overset{+2}{Mn^{2+}} + H_2O \rightarrow \overset{+4}{MnO_2} + H^+ + e^-$$

بنابراین ضریب الکترون برای این نیم‌واکنش برابر است با: $1\times 2 = 2$

$$1Mn^{2+} + 2H_2O \rightarrow 1MnO_2 + 4H^+ + 2e^-$$

پس از تعیین ضریب e منگنز را موازنه کردیم. پس از آن با قرار دادن ضریب ۴ برای H^+ بار الکتریکی دو سمت را موازنه کردیم و در آخر نیز ضریب ۲ را برای آب قرار می‌دهیم.

پاسخ تست: ۱ ۲ ۳ ۴

۲۵. در نیم‌واکنش:

$$MnO_4^-(aq) + a\,H^+(aq) + b\,e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + c\,H_2O(l)$$

ضریب‌های a، b و c به‌ترتیب از راست به چپ، کدام‌اند؟ (خارج، تجربی ۹۴)

۱) ۸، ۳، ۱ ۲) ۵، ۲، ۳ ۳) ۵، ۴، ۴ ۴) ۸، ۵، ۴

تحلیل سؤال

واکنش موردنظر، واکنش کاهش منگنز است. توجه کنید که عدد اکسایش عنصرهای هیدروژن و اکسیژن تغییری نداشته است. با توجه به تغییر عدد اکسایش منگنز، ضریب e برابر ۵ است.

$$\overset{+7}{1MnO_4^-} + 8H^+ + 5e^- \rightarrow \overset{+2}{1Mn^{2+}} + 4H_2O$$

مجموع بار الکتریکی فراورده‌ها برابر ۲+ است (H_2O تأثیری بر بار ندارد، زیرا خنثی است)، برای اینکه مجموع بار الکتریکی مواد اولیه هم ۲+ باشد، لازم است ضریب H^+ را ۸ قرار دهیم.

پاسخ تست: ۱ ۲ ۳ ۴

۲۶. مجموع ضریب‌های استوکیومتری مواد در واکنش اکسایش ـ کاهش زیر، کدام است و در نیم‌واکنش کاهش آن، به ازای هر مول گونهٔ اکسنده، چند مول الکترون مبادله می‌شود؟ (گزینه‌ها را از راست به چپ بخوانید) (ریاضی ۹۹)

$$Ag(s) + NO_3^-(aq) + H^+(aq) \rightarrow Ag^+(aq) + NO(g) + H_2O(l)$$

۱) ۱۴، ۳ ۲) ۱۴، ۴ ۳) ۱۵، ۴ ۴) ۱۵، ۳

تحلیل سؤال

برای موازنهٔ یک واکنش به گونهٔ زیر عمل می‌کنیم:

- عنصرهای اکسایش و کاهش‌یافته (اکسنده و کاهنده) به همراه تغییر عدد اکسایش هر یک را مشخص می‌کنیم.
- تغییر عدد اکسایش عنصر اکسنده را به‌عنوان ضریب برای مادهٔ کاهنده در سمت مواد اولیه قرار می‌دهیم. ضریب مادهٔ اکسنده در سمت مواد اولیه نیز تغییر عدد اکسایش عنصر کاهنده است.

تذکر توجه کنید که در غالب موارد، ضرایب را (همان تغییر عدد اکسایش‌ها) را در سمت مادهٔ اولیه قرار می‌دهیم.

تذکر اگر یکی از مواد اکسنده یا کاهنده زیروندی به غیر از عدد ۱ داشته باشد، این زیروند باید در تغییر عدد اکسایش ضرب شده و سپس به عنوان ضریب مادهٔ دیگر منظور شود.

در پایان موازنهٔ جرم را انجام می‌دهیم.

نکته تعداد الکترون‌های مبادله شده در یک واکنش اکسایش ـ کاهش از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

ضریب مادهٔ کاهنده × مول الکترون ← بررسی مادهٔ کاهنده = تغییر عدد اکسایش × بزرگ‌ترین زیروند آن در واکنش

ضریب مادهٔ اکسنده × مول الکترون ← بررسی مادهٔ اکسنده = تغییر عدد اکسایش × بزرگ‌ترین زیروند آن در واکنش

$$\overset{0}{3Ag} + 1NO_3^- + 4H^+ \rightarrow \overset{+1}{3Ag^+} + 1NO + 2H_2O$$

ترتیب موازنه:

تغییر عدد اکسایش نقره (یک واحد) را ضریب گونه NO_3^- و تغییر عدد اکسایش نیتروژن (سه واحد) را به‌عنوان ضریب Ag قرار دادیم.

ضرایب را برای Ag^+ و NO نیز منظور کردیم.

برای موازنهٔ بار، ضریب ۴ را برای H^+ قرار دادیم تا مجموع بار الکتریکی دو سمت ۳+ باشد.

در آخر ضریب ۲ را برای H_2O قرار می‌دهیم.

نیم‌واکنش کاهش در این واکنش همان تبدیل NO_3^- به NO و تغییر عدد اکسایش نیتروژن در آن سه واحد است. با در نظر گرفتن ضریب NO_3^-، تعداد الکترون مبادله‌شده در این واکنش ۳ مول است.

پاسخ تست: ۱ ۲ ۳ ۴

۲۷. با توجه به واکنش زیر، کدام گزینه درست است؟ (تجربی ۹۶)

$$MnO_4^-(aq) + H_2C_2O_4(aq) + H^+(aq) \rightarrow MnO_2(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

۱) انجام این واکنش، سبب کاهش pH محلول می‌شود .

۲) هر اتم منگنز در این واکنش سه درجه کاهش می‌یابد.

۳) در این واکنش اتم‌های اکسیژن، نقش اکسنده دارند.

۴) با مصرف ۰/۱ مول $H_2C_2O_4(aq)$، ۰/۱ مول الکترون مبادله می‌شود.

تحلیل سؤال

تغییرات عدد اکسایش گونه‌ها به‌صورت زیر است:

$$\overset{+7}{MnO_4^-} + H_2C_2O_4 + H^+ \rightarrow \overset{+4}{MnO_2} + H_2O + CO_2$$

بررسی گزینه‌ها:

گزینهٔ (۱): نادرست. در این واکنش یون H^+ مصرف شده و با کاهش غلظت این یون، pH افزایش می‌یابد.

گزینهٔ (۲): درست. هر اتم منگنز سه درجه کاهش یافته است.

گزینهٔ (۳): نادرست. اتم اکسیژن تغییر عدد اکسایش ندارد، پس اکسیژن نه اکسنده و نه کاهنده است.

گزینهٔ (۴): نادرست. در این واکنش به ازای ۱ مول MnO_4^- یا ۳ مول $H_2C_2O_4$، سه مول الکترون مبادله می‌شود. بنابراین به ازای ۰/۱ مول $H_2C_2O_4$ مقدار ۰/۳ مول الکترون مبادله شده است.

پاسخ تست: ۱ ۲ ۳ ۴

۲۸. چند مورد از مطالب زیر، دربارهٔ سلول سوختی هیدروژن – اکسیژن و سلول الکترولیتی برقکافت آب، درست است؟ (تجربی ۱۴۰۱)

- جهت حرکت الکترون در هر دو نوع سلول، از آند به کاتد است.
- واکنش کلی برقکافت آب، مانند واکنش کلی سلول سوختی است.
- کاغذ pH در محلول پیرامون آند هر دو نوع سلول، به رنگ قرمز درمی‌آید.
- شمار الکترون‌های مبادله‌شده در نیم‌واکنش کاتدی هر دو نوع سلول، برابر است.

نیم‌واکنش کاهش در سلول سوختی، مانند نیم‌واکنش کاهش آب در سلول الکترولیتی است.

۱) دو ۲) سه ۳) چهار ۴) پنج

تحلیل سؤال

بررسی عبارت‌ها:

عبارت اول: درست. در هر دو نوع سلول (گالوانی یا الکترولیتی) جهت حرکت الکترون‌ها در مدار بیرونی، از آند به کاتد است.

عبارت دوم: نادرست. با توجه به واکنش‌های زیر می‌بینید که این دو واکنش عکس هم هستند.

سلول سوختی هیدروژن: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

برقکافت آب: $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$

عبارت سوم: درست. نیم‌واکنش آندی انجام‌شده در دو سلول به صورت زیر است. می‌دانید که در محیط اسیدی، کاغذ pH به رنگ قرمز درمی‌آید.

نیم‌واکنش آندی در سلول سوختی هیدروژن $\Rightarrow 2H_2 \rightarrow \underline{\underline{4H^+}} + 4e$

نیم‌واکنش آندی در برقکافت آب $\Rightarrow 2H_2O \rightarrow O_2(g) + \underline{\underline{4H^+}} + 4e$

عبارت چهارم: درست.

نیم‌واکنش کاتدی در سلول سوختی هیدروژن $\Rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$

نیم‌واکنش کاتدی در برقکافت آب $\Rightarrow 2H_2O \rightarrow +4e \rightarrow 4OH^- + 2H_2$

عبارت پنجم: نادرست. با توجه به واکنش‌های مطرح‌شده در توضیح عبارت چهارم، این عبارت نادرست است. (واکنش‌ها کاملاً متفاوت هستند.)

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۲۹. در چند تبدیل زیر، عدد اکسایش فلز، کاهش می‌یابد؟ (تجربی ۱۴۰۱)

- $SnO_2 \rightarrow SnO_3^{2-}$
- $MnO_4^- \rightarrow MnO_4^{2-}$
- $CrO_3^{2-} \rightarrow CrO_3$
- $Cr_2O_7^{2-} \rightarrow CrO_4^{2-}$
- $Cu(OH)_2 \rightarrow CuO$
- $MnO_2 \rightarrow Mn^{2+}$

۱) دو ۲) سه ۳) چهار ۴) پنج

تحلیل سؤال

تک تک تبدیل‌ها را بررسی می‌کنیم. می‌بینید که فقط در دو مورد، عدد اکسایش فلز کاهش یافته است.

✓ $MnO_4^- \rightarrow MnO_4^{2-}$ (+۷ → +۶)

$CrO_3^{2-} \rightarrow CrO_3$ (+۴ → +۶)

$CrO_7^{2-} \rightarrow CrO_4^{2-}$ (+۶ → +۶)

✓ $MnO_2 \rightarrow Mn^{2+}$ (+۴ → +۲)

$Cu(OH)_2 \rightarrow CuO$ (+۲ → +۲)

پاسخ تست ۱ ۲ ۳ ۴

۳۰. دربارهٔ واکنش : (ریاضی ۱۴۰۱)

$$aP_4(s) + bHNO_3(aq) + cH_2O(l) \rightarrow 12H_3PO_4(aq) + NO(g)$$

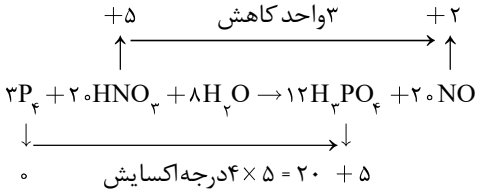
پس از موازنهٔ کامل معادلهٔ آن، چند مورد از مطالب زیر درست است؟

* نسبت c به b برابر ۰/۴ است.
* یک آنیون چنداتمی در آن، نقش اکسنده را دارد.
* عدد اکسایش اتم اکسیژن در آن، تغییر نکرده است.
* ضریب استوکیومتری یکی از واکنش‌دهنده‌ها با ضریب استوکیومتری یکی از فراورده‌ها برابر است.
* تفاوت تغییر عدد اکسایش هر گونهٔ اکسنده با کاهنده، برابر ضریب استوکیومتری یکی از واکنش‌دهنده‌ها است.

۱) سه ۲) چهار ۳) پنج ۴) دو

تحلیل سؤال

موازنهٔ این واکنش به روش اکسایش – کاهش به‌صورت زیر است:



بررسی عبارت‌ها:

عبارت اول: درست. $\frac{c}{b} = \frac{۸}{۲۰} = ۰/۴$

عبارت دوم: درست. منظور، نیتروژن موجود در یون نیترات $(NO_۳^-)$ است. عدد اکسایش N طی واکنش، کاهش یافته، بنابراین یون نیترات، اکسنده است.

عبارت سوم: درست. عدد اکسایش همهٔ اکسیژن‌ها، ۲- است.

عبارت چهارم: درست. $HNO_۳$ و NO ...

عبارت پنجم: نادرست. تغییر عدد اکسایش $P_۴$ برابر ۲۰ و در $HNO_۳$، ۳ واحد است.

اختلاف آنها ۱۷ است که با ضریب هیچ‌یک از واکنش‌دهنده‌ها برابر نیست.

پاسخ تست ۱ **۲** ۳ ۴

یادداشت

می‌توانند هم جنس باشند.

دریافتید که در سلول الکترولیتی، دو الکترود درون یک الکترولیت قرار دارند، الکترودهایی که اغلب گرافیتی هستند. در این سلول‌ها، کاتد الکترودی است که به قطب منفی باتری و آند به قطب مثبت باتری متصل است و الکترولیت محتوی یون‌هایی است که آزادانه جابه‌جا می‌شوند.

در واقع الکترولیت، یک محلول یونی یا یک ترکیب یونی مذاب است. هنگامی که به این سلول ولتاژ معینی اعمال شود، یون‌ها به سوی الکترود با بار ناهمنام حرکت می‌کنند. به‌طوری که کاتیون‌ها به سوی کاتد و آنیون‌ها به سوی آند روانه می‌شوند تا به سطح الکترودها برسند و در نیم واکنش اکسایش و کاهش شرکت کنند.

محل انجام واکنش‌های اکسایش و کاهش

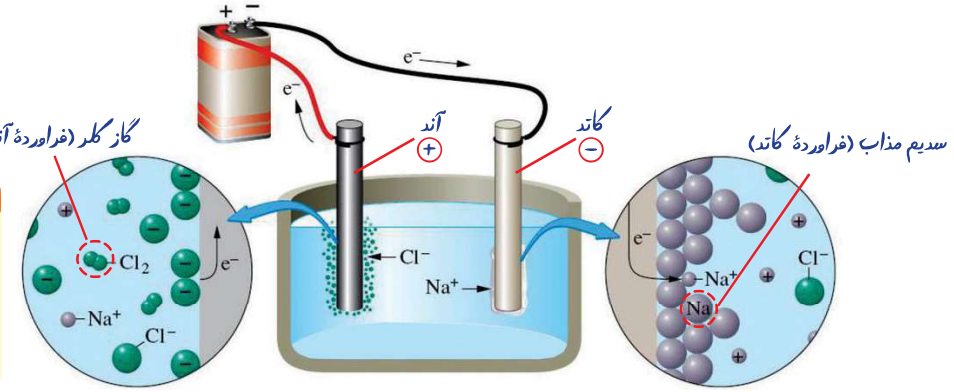
$Na(s)$ ← $Na^+(l)$, $Cl^-(l)$ ← مذاب

برقکافت $NaCl(l)$ و تهیه فلز سدیم

میل به از دست دادن الکترون

فلز سدیم یک کاهنده قوی است که در طبیعت به حالت آزاد یافت نمی‌شود، عنصری که در ترکیب‌های طبیعی و گوناگون خود تنها به شکل یون سدیم Na^+ وجود دارد. این واقعیت نشان می‌دهد که یون‌های سدیم بسیار پایدارتر از اتم‌های آن هستند. به همین دلیل برای تهیه فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد. شکل ۱۲، تهیه این فلز را از برقکافت سدیم کلرید مذاب در یک سلول الکترولیتی نشان می‌دهد.

مثلاً دمای بالاتر از ۴۰۰۰ °C



شکل ۱۲ـ برقکافت سدیم کلرید مذاب، با نوشتن نیم‌واکنش‌ها، معادله واکنش کلی را برای آن به‌دست آورید.

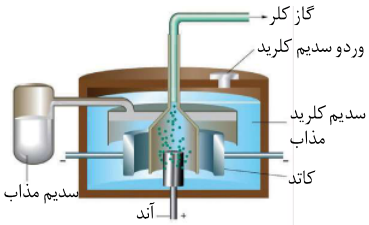
نیم‌واکنش آندی: $2Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2e$

نیم‌واکنش کاتدی: $Na^+(l) + e \rightarrow Na(l)$

از آنجا که دیگر فلزهای فعال نیز کاهنده‌های قوی هستند، باید آنها را همانند سدیم از برقکافت نمک مذاب آنها تهیه کرد. برای نمونه فلز منیزیم را در صنعت از برقکافت منیزیم کلرید مذاب تهیه می‌کنند.

آیا می‌دانید

سلول دانز یک سلول الکترولیتی است که در صنعت برای تهیه فلز سدیم به کار می‌رود. در این سلول، برقکافت سدیم کلرید مذاب انجام می‌شود.



نکته

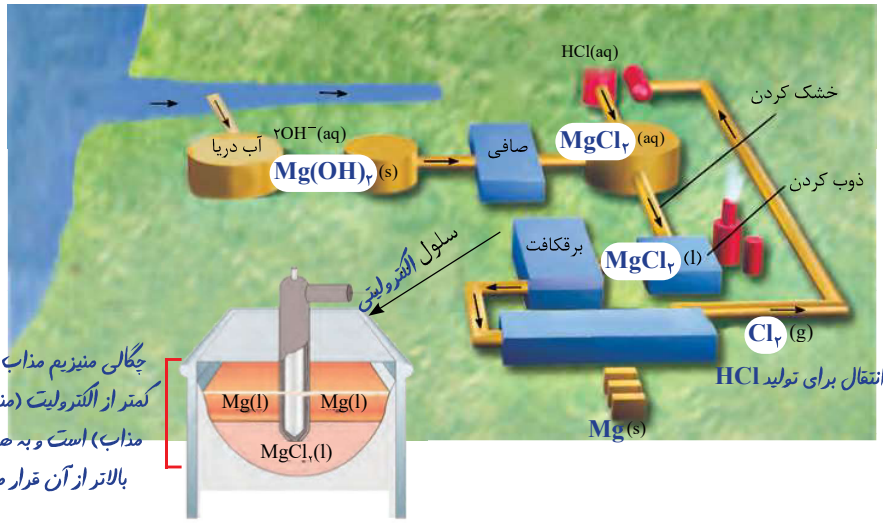
برای تهیهٔ فلزات گروه ۱ و ۲ و آلومینیم باید از برقکافت نمک مذاب آنها استفاده شود، زیرا در صورت وجود آب، یون‌های این عناصر نمی‌توانند در کاتد موفق به کاهش یافتن شوند.

سدیم کلرید خالص در ۸۰۱ °C ذوب می‌شود. افزودن مقداری کلسیم کلرید $CaCl_2$ به آن، دمای ذوب را تا حدود ۵۸۷ °C پایین می‌آورد. این کار از نظر اقتصادی چه مزیتی دارد؟

به چنین ماده‌ای کمک‌ذوب می‌گوییم.

خود را بیازمایید

شکل صفحهٔ بعد مراحل تهیه فلز منیزیم را از آب دریا نشان می‌دهد. جاهای خالی را پر کرده و درباره این روش در کلاس گفت‌وگو کنید.



چگالی منیزیم مذاب تولیدشده، کمتر از الکترولیت (منیزیم کلرید مذاب) است و به همین دلیل بالاتر از آن قرار می‌گیرد.

تاکنون با دو نوع سلول الکتروشیمیایی آشنا شدید. در سلول گالوانی (گالوانی و الکترولیتی)، انجام یک واکنش اکسایش ـ کاهش خودبه‌خودی منجر به تولید انرژی الکتریکی شده اما در سلول الکترولیتی با اعمال ولتاژ بیرونی معین، یک واکنش اکسایش ـ کاهش غیرخودبه‌خودی دلخواه انجام می‌شود. واکنش‌های انجام شده در هر دو سلول، مطلوب و سودمند هستند، این در حالی است که پیرامون ما واکنش‌های اکسایش ـ کاهش زیادی مانند سیاه شدن وسایل نقره‌ای، فساد مواد خوراکی و... انجام می‌شوند که مطلوب ما نیستند و گاهی زیان‌هایی به دنبال دارند.

ظرف نقره‌ای در اثر انجام واکنش اکسایش ـ کاهش کدر می‌شود.

ظرف نقره‌ای که در اثر انجام واکنش اکسایش ـ کاهش، جلا می‌یابد.

خوردگی، یک واکنش اکسایش ـ کاهش ناخواسته

سالانه صدها میلیون تن از فلزهای گوناگون به‌ویژه آهن برای ساختن اسکله نفتی، اسکلت ساختمان، پل، کشتی، لوکوموتیو و راه آهن، خودرو، هواپیما و... مصرف می‌شود. هنگامی که فلزها در هوا قرار می‌گیرند، اغلب اکسایش یافته و به شکل اکسید در می‌آیند. در فلزهایی مانند آهن با ادامه اکسایش، لایه‌ای ترد و شکننده تشکیل می‌شود که به‌تدریج فرو می‌ریزد. در این حالت می‌گویند فلز خورده شده است.

از آنجا که آهن پر مصرف‌ترین فلز در جهان است، خوردگی آن خسارت‌های هنگفتی به اقتصاد کشورها وارد می‌کند به طوری که سالانه حدود ۲۰ درصد از آهن تولیدی برای جایگزینی قطعه‌های خورده شده مصرف می‌شود.

پتانسیل کاهشی اغلب فلزها منفی بوده اما پتانسیل کاهشی اکسیژن مثبت است. با این توصیف اکسیژن به‌عنوان اکسنده تمایل دارد با گرفتن الکترون از فلزها، آنها را اکسید کند. هنگامی که وسایل آهنی در هوای مرطوب قرار گیرند، یک واکنش اکسایش ـ کاهش انجام

البته بسته به محیط واکنش این مقادیر متفاوت هستند

در جدول پایین‌تر از $H_2(SHE)$ قرار دارند.

مثلا Al اکسید می‌شود ولی فرو نمی‌ریزد (برخلاف آهن)

خوردگی به فرایند ترد شدن، خرد شدن و فروریختن فلزها بر اثر واکنش اکسایش ـ کاهش گفته می‌شود. زنگ زدن آهن و زنگار سبز بر سطح مس نمونه‌هایی از خوردگی هستند.

تشکیل یک سلول گالوانی در محل اکسایش آهن

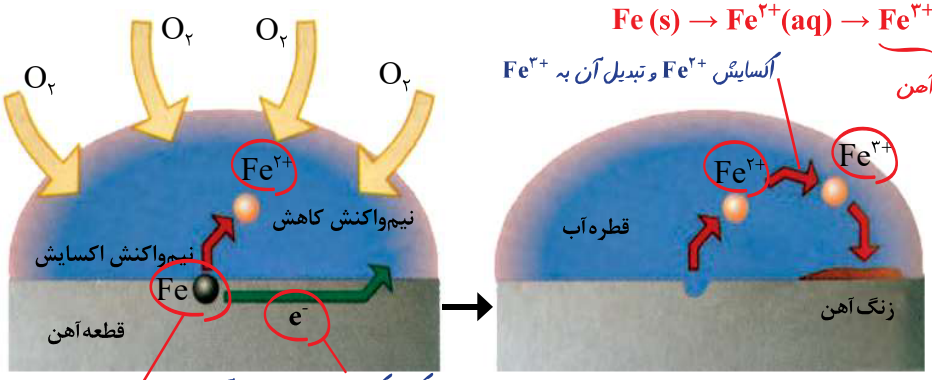
می‌شود. واکنشی که به‌طور طبیعی باعث اکسایش آهن می‌شود و از زیبایی و استحکام آن می‌کاهد (شکل ۱۳).

شکل ۱۳ـ نمونه‌ای از زنگ زدن آهن، بدنه آهنی کشتی در مجاورت هوا و رطوبت قرار گرفته و بر سطح آن زنگ آهن تشکیل شده است. فرایندی که باعث خوردگی می‌شود.

با هم بیندیشیم

۱ ـ با توجه به شکل‌های زیر، به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

$Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq)$ (زنگ آهن)



اکسایش Fe^{2+} و تبدیل آن به Fe^{3+}

حرکت الکترون از طریق قطعهٔ آهن

اکسایش آهن در پایگاه آندی (جایی که به دور از هواست)

آ) چگونگی تشکیل زنگ آهن را توصیف کنید.

ب) هر یک از نیم واکنش‌های زیر را موازنه کنید.

$Fe(s) \longrightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$ (محیط خنثی)

$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$: واکنش کاهش اکسیژن

مقدار E° این واکنش را با E° واکنش کاهش اکسیژن در محیط اسیدی (سلول سوختی) مقایسه کنید.

پ) با توجه به اینکه زنگ آهن حاوی یون آهن (III) است، نیم واکنش اکسایش یون آهن(II) به یون آهن(III) را بنویسید. $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$ یا $4Fe(OH)_2(s) + 2H_2O(l) + O_2(g) \rightarrow 4Fe(OH)_3(s)$

ت) فراورده نهایی خوردگی، زنگ آهن است. اگر فرمول شیمیایی آن را $Fe(OH)_3$ در نظر بگیریم، معادله واکنش زیر را به روش وارسی موازنه کنید.

سه حالت فیزیکی

$4Fe(s) + 6H_2O(l) + 3O_2(g) \longrightarrow 4Fe(OH)_3(s) \sim 12\,mol\ e^-$ (واکنش کلی زنگ آهن)

مجموع ضرایب: ۱۷

۲- با توجه به نیم واکنش‌های زیر توضیح دهید چرا :

محیط اسیدی

$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$ $\quad E^\circ = +1/23\ V$ (سلول سوختی)

$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$ $\quad E^\circ = +0/40\ V$ (زنگ زدن آهن)

$Au^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow Au(s)$ $\quad E^\circ = +1/50\ V$

$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Fe(s)$ $\quad E^\circ = -0/44\ V$

نیم‌واکنش کاهش اکسیژن (در سلول سوختی)

به تفاوت E° واکنش کاهش گاز اکسیژن در این دو واکنش توجه کنید. مقدار E° کاهش اکسیژن در محیط اسیدی بیش از حالت دیگر است و به همین دلیل فلزات (آهن) در محیط اسیدی با شدت بیشتری اکسید می‌شوند.

آ) خوردگی آهن در محیط اسیدی به میزان بیشتری رخ می‌دهد؟ (با توجه به E° نیم‌واکنش اول)

ب) با گذشت زمان فلز طلا در هوای مرطوب و حتی در اعماق دریا همچنان درخشان باقی می‌ماند؟ (توجه کنید که $E^\circ(Au^{3+}/Au(s))$ مقدار مثبت‌تری نسبت به E° گاز اکسیژن است).

آیا می‌دانید

فرمول شیمیایی $4Fe(OH)_3$ را به‌شکل $2(Fe_2O_3.3H_2O)$ نیز نشان می‌دهند و با نام آهن(III)اکسید آبپوشیده خوانده می‌شود.

پی بردید که فلزهای نجیبی مانند طلا و پلاتین حتی در محیط‌های اسیدی اکسایش نمی‌یابند اما وسایل آهنی در هوای مرطوب دچار خوردگی می‌شوند. واکنش ناخواسته‌ای که در شهرهای بندری و ساحلی بیشتر خودنمایی می‌کند. بدیهی است که ساده‌ترین راه برای جلوگیری از خوردگی آهن، ایجاد یک پوشش محافظ است تا از رسیدن اکسیژن و رطوبت به آهن جلوگیری کند. پوششی که با روش‌هایی مانند رنگ زدن، قیراندود کردن و روکش دادن ایجاد می‌شود. باید توجه داشت که چنین روش‌هایی نمی‌توانند به‌طور کامل از خوردگی پیشگیری کنند زیرا به‌تدریج رطوبت و اکسیژن از روزنه‌های این پوشش‌ها به درون نفوذ کرده و به سطح آهن می‌رسند و خوردگی دوباره آغاز می‌شود. با توجه به آنچه که آموخته‌اید چه روش دیگری پیشنهاد می‌کنید که تا حد امکان آسیب‌ها و زیان‌های خوردگی را کاهش دهد؟

تست

با توجه به فرایند زنگ زدن آهن درهوای مرطوب، نقش‌های آب دراین واکنش کدام‌اند؟ (ریاضی ۹۸)

۱) اکسنده، حلال

۲) کاهنده، حلال

۳) الکترولیت، واکنش‌دهنده

۴) الکترولیت، اکسنده

پاسخ: گزینه (۳)

پیوند با صنعت

فداکاری فلزها برای حفاظت آهن

رطوبت به‌عنوان رسانای یونی

هنگامی که دو فلز در هوای مرطوب با هم در تماس باشند، برای اکسایش یافتن با یکدیگر رقابت می‌کنند. بدیهی است که فلز کاهنده‌تر در این رقابت برنده می‌شود. برای پیش بینی فلز برنده باید از پتانسیل کاهشی استاندارد کمک گرفت. اینک به E° فلزهای زیر توجه کنید.

$E^\circ(Cu^{2+}/Cu) = +0/34\ V$ $\quad$ $E^\circ(Fe^{2+}/Fe) = -0/44\ V$

$E^\circ(Zn^{2+}/Zn) = -0/76\ V$ $\quad$ $E^\circ(Mg^{2+}/Mg) = -2/37\ V$

تصور کنید فلز روی یا منیزیم در هوای مرطوب با آهن تماس داشته باشد، با توجه به E° آنها بی‌شک روی یا منیزیم است که در رقابت برنده شده و اکسید می‌شود. اکسایشی که نشان از فداکاری آنها داشته و سبب پیشگیری از اکسایش آهن خواهد شد. این در حالی است که اگر فلز مس در تماس با آهن باشد در این رقابت، آهن دچار خوردگی می‌شود. اینک می‌پذیرید که مهندسین با تکیه بر دانش الکتروشیمی توانسته‌اند روش‌های عملی و مؤثرتری برای حفاظت از آهن در محیط‌های گوناگون به‌کارگیرند (شکل ۱۴).

باید توجه داشت که با گذشت زمان منیزیم اکسایش یافته و مصرف می‌شود. از این رو باید به شکل دوره‌ای تکه‌های منیزیم را تعویض کرد.

کاهنده‌تر از آهن

(آ)

(ب)

کاربرد حفاظت کاتدی فلز آهن توسط منیزیم

شکل ۱۴ـ حفاظت از آهن با منیزیم، آ) بدنه کشتی ب) لوله‌های نفتی

به این روش حفاظت کاتدی گفته می‌شود و اساس آن اتصال یک فلز کاهنده‌تر (E° منفی‌تر) به فلز موردنظر (معمولاً آهن) است تا از این طریق فلز موردنظر از اکسایش در امان بماند.