سلول سوختی، منبعی برای تولید انرژی سبز

ص ۵۳ ـ ۵۰

سوخت‌های فسیلی

- **مناسب‌ترین** سوخت برای خودروها و نیروگاه‌ها می‌باشند.
- استخراج و مصرف بی‌رویهٔ آن‌ها باعث شده تا ذخایر آن‌ها به سرعت کاهش یابد.
- گسترش روز افزون آلودگی ناشی از مصرف آن‌ها، جهان را با چالش روبه‌رو کرده است.

سلول سوختی

- نوعی **سلول گالوانی** است.
- برای گذر از تنگنای **تأمین انرژی و کاهش آلودگی** محیط زیست پیشنهاد می‌شود.
- کارایی **بیش‌تر از** سوخت فسیلی دارد.
- می‌تواند ردپای کربن دی‌اکسید را **کاهش** دهد.
- دوستدار محیط زیست است و **منبع انرژی سبز** به شمار می‌آید.

با توجه به شکل‌های زیر که دو روش به همراه مراحلشان برای تبدیل انرژی شیمیایی موجود در یک سوخت به انرژی الکتریکی نشان داده شده است، مشخص می‌شود که در روش سلول سوختی هم کارایی **بالاتر** است و هم اتلاف انرژی به شکل گرما **کم‌تر** می‌باشد.

روش (۱)

انتقال سوخت ← سوزاندن سوخت ← تولید بخار ← راه‌اندازی توربین و تولید برق ← انتقال برق

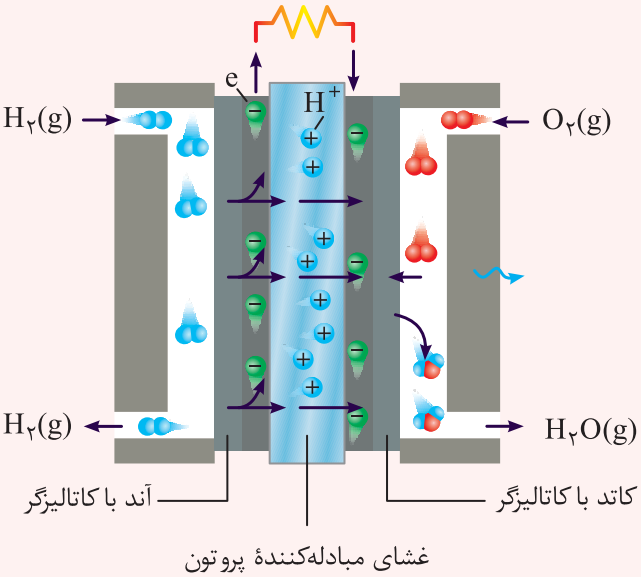
روش (۲)

انتقال سوخت ← سلول سوختی و تولید برق

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 افزایش می‌دهد.

www.Gajmarket.com

تصویرخانه



★ **رایج‌ترین** سلول سوختی، سلول **هیدروژن ـ اکسیژن** است. دستگاهی که در آن هیدروژن با اکسیژن به‌صورت کنترل‌شده واکنش می‌دهد و **بخش قابل توجهی** از انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. به شکل آن دقت کنید تا نکات را با هم بررسی کنیم:

۱ هر سلول سوختی دارای سه جزء اصلی است
- **غشا**
- **الکترود آند**
- **الکترود کاتد**

۲ **کاتد**
- قطب **مثبت** است.
- در کنار آن گاز **اکسیژن** وارد می‌شود.
- دارای **کاتالیزگر** است.
- **اکسیژن** در واکنش با سوخت، یعنی همان هیدروژن، **کاهش** می‌یابد.

۳ **آند**
- قطب **منفی** است.
- در کنار آن سوخت، که همان **گاز هیدروژن** است، وارد می‌شود.
- دارای **کاتالیزگر** است.
- هیدروژن پیوسته وارد شده و **اکسایش** می‌یابد، به این ترتیب **یون هیدروژن** (H^+) را ایجاد می‌کند.

۴ **معادلهٔ کلی** سلول به‌صورت $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$ است.

۵ چون همهٔ گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش **خنثی** هستند، روند اکسایش و کاهش در معادلهٔ کلی به طور واضح معلوم نیست. شیمیدان‌ها برای حل این مشکل **عدد اکسایش** را ارائه کردند.

www.Gajmarket.com

✪ **برای تعیین عدد اکسایش** هر ترکیب به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

آ) ساختار الکترون ـ نقطه‌ای گونه‌های شرکت‌کننده را رسم می‌کنیم.

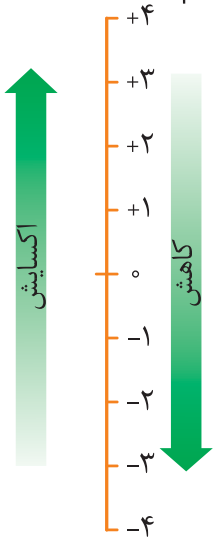
ب) در هر ساختار:

✪ به ازای هر جفت الکترون **پیوندی** میان **دو اتم یکسان**، **یک الکترون** به هر اتم نسبت می‌دهیم.

✪ به ازای هر جفت الکترون پیوندی میان دو اتم متفاوت، هر دو الکترون را به اتم با خصلت نافلزی **بیش‌تر** نسبت می‌دهیم.

✪ همهٔ الکترون‌های ناپیوندی روی هر اتم را به همان اتم نسبت می‌دهیم.

پ) الکترون‌های نسبت داده‌شده به هر اتم را می‌شماریم و آن را از شمار الکترون‌های ظرفیت همان اتم کم می‌کنیم، عدد به‌دست آمده **عدد اکسایش** اتم مورد نظر را نشان می‌دهد.



◎ **نکته** **بیش‌تر شدن عدد اکسایش ← اکسایش**

یافتن مادهٔ مورد نظر ← مادهٔ مورد نظر کاهنده است.

کم‌تر شدن عدد اکسایش ← کاهش یافتن مادهٔ مورد نظر ← مادهٔ مورد نظر اکسنده است.

چند نکته راجع به تعیین عدد اکسایش:

۱ عدد اکسایش عناصر در حالت آزاد **برابر صفر** است.

عنصر	H_2	O_2	Mg	Fe	Cl_2
عدد اکسایش	۰	۰	۰	۰	۰

۲ عدد اکسایش یون‌های تک‌اتمی **برابر بار آن‌ها** است.

یون	F^-	Al^{3+}	Na^+	O^{2-}
عدد اکسایش	−۱	+۳	+۱	−۲

www.Gajmarket.com

۳ اغلب **نافلزها و فلزهای واسطه** در ترکیب‌های خود عددهای اکسایش **گوناگونی** دارند. برای نمونه عدد اکسایش آهن در $FeCl_2$ و $FeCl_3$ به ترتیب ۲+ و ۳+ است در حالی‌که عدد اکسایش گوگرد در Na_2S و SO_3 به ترتیب ۲− و ۶+ است.

با این‌که سلول‌های سوختی برخلاف باتری‌ها، انرژی شیمیایی را **ذخیره نمی‌کنند** اما در آن‌ها نیز پیوسته سوخت در شرایط کنترل‌شده، مصرف و جریان الکتریکی برقرار می‌شود. یکی از چالش‌هایی که در کاربرد سلول‌های سوختی هیدروژن ـ اکسیژن خودنمایی می‌کند، **تأمین سوخت** آن‌ها است.

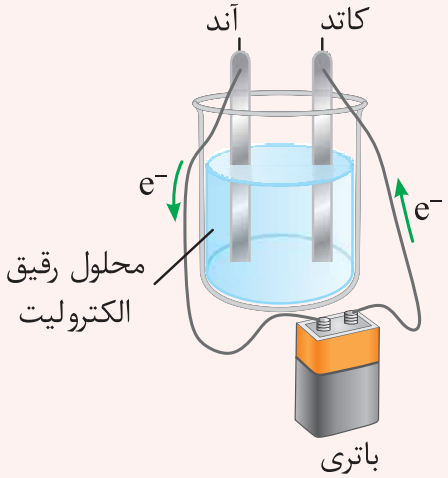
برقکافت آب، راهی برای تولید گاز هیدروژن

ص ۵۵ ـ ۵۴

سلول‌های الکترولیتی: سلول‌هایی هستند که با اعمال یک **ولتاژ بیرونی** و عبور جریان الکتریکی از درون محلول الکترولیت می‌توان یک واکنش شیمیایی را در **خلاف جهت طبیعی** پیش راند.

تصویرخانه

برقکافت آب یکی از واکنش‌هایی است که در سلول‌های الکترولیتی انجام می‌شود. به شکل برقکافت آب دقت کنید تا نکات آن را با هم بررسی کنیم:



۱ آب خالص رسانایی الکتریکی **ناچیزی** دارد، از این رو برای برقکافت آن باید اندکی الکترولیت به آب افزود.

۲ هر دو الکترود کاتد و آند درون یک الکترولیت قرار دارند.

www.Gajmarket.com

۳ الکترودها در این سلول‌ها **بی‌اثر** هستند و در واکنش شرکت نمی‌کنند و اغلب از جنس **گرافیت** انتخاب می‌شوند.

۴ در این سلول‌ها **کاتد** را **به قطب منفی باتری** می‌بندیم و **آند** را **به قطب مثبت** آن وصل می‌کنیم.

۵ در کاتد یعنی قطب منفی نیم‌واکنش **کاهش** به شکل زیر انجام می‌شود:

نیم‌واکنش کاهش: $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

توجه در این قسمت **چون یون هیدروکسید** تولید می‌شود، خاصیت **بازی** ایجاد می‌شود و اگر کاغذ pH را در اطراف کاتد در محلول فرو کنیم **به رنگ آبی** در خواهد آمد.

۶ در آند یعنی قطب مثبت، نیم‌واکنش **اکسایش** به شکل زیر انجام می‌شود:

نیم‌واکنش اکسایش: $2H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e^-$

توجه در این قسمت چون یون **هیدرونیم** تولید می‌شود، خاصیت **اسیدی** ایجاد می‌شود و اگر کاغذ pH را در اطراف آند در محلول فرو کنیم **به رنگ قرمز** در خواهد آمد.

۷ برای نوشتن معادلهٔ کلی باید نیم‌واکنش کاهش را در ۲ ضرب کنیم تا الکترون‌ها حذف شوند. واکنش کلی این سلول به‌صورت زیر خواهد بود:

$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$

برقکافت $NaCl(l)$ و تهیهٔ فلز سدیم

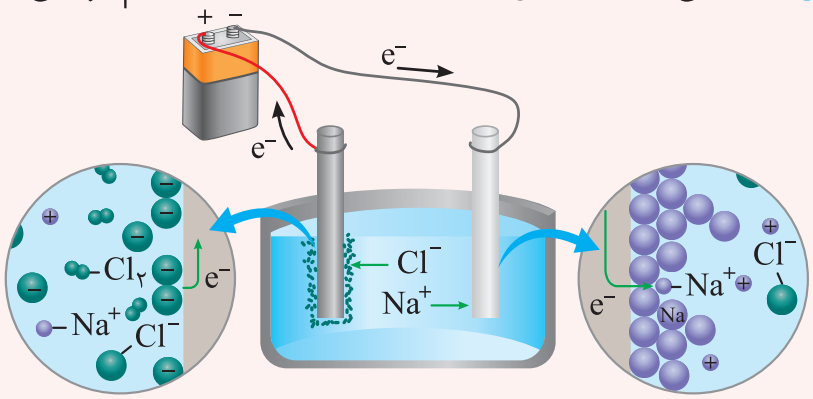
ص ۵۶ ـ ۵۵

فلز سدیم یک **کاهندهٔ قوی** با E° **بسیار پایین** است که در طبیعت **به حالت آزاد یافت نمی‌شود** و در ترکیب‌های طبیعی تنها به شکل **یون سدیم** وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که یون‌های سدیم **بسیار پایدارتر** از اتم‌های سدیم هستند. به همین دلیل برای تهیهٔ فلز سدیم باید انرژی زیادی مصرف کرد.

www.Gajmarket.com

تصویرخانه

شکل زیر تهیهٔ فلز سدیم را از برقکافت **سدیم کلرید مذاب** در یک **سلول الکترولیتی** نشان می‌دهد. به شکل دقت کنید تا نکات آن را با هم بررسی کنیم:



۱ سدیم کلرید خالص در $801^\circ C$ ذوب می‌شود. افزودن مقداری **کلسیم کلرید** به آن، دمای ذوب را تا حدود $587^\circ C$ پایین می‌آورد.

۲ یون سدیم به سمت قطب منفی (کاتد) رفته و با گرفتن الکترون **کاهش** می‌یابد:

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

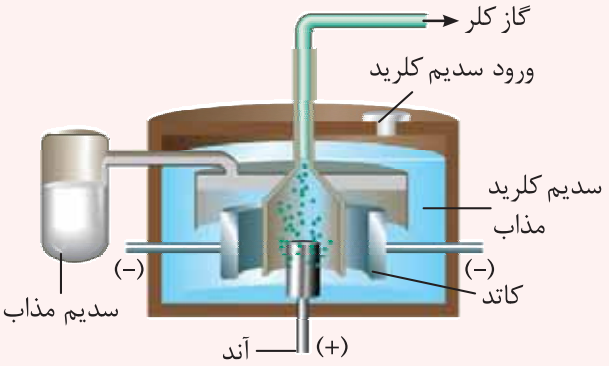
۳ یون کلرید به سمت قطب مثبت (آند) رفته و با از دست دادن الکترون **اکسایش** می‌یابد:

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

۴ **معادلهٔ کلی** واکنش به‌صورت زیر است:

$2NaCl(l) \rightarrow 2Na(l) + Cl_2(g)$

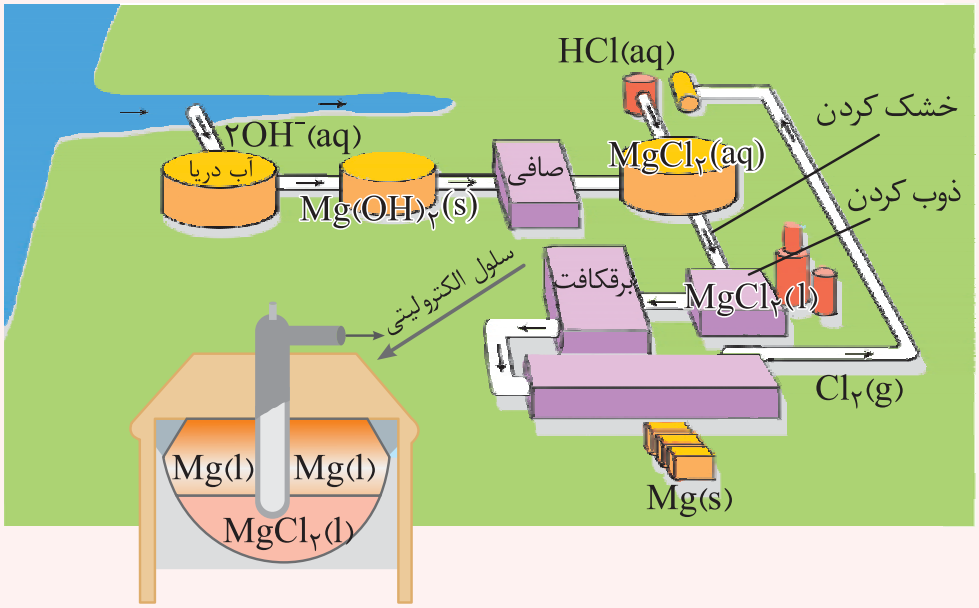
۵ **سلول دانز** یک **سلول الکترولیتی** است که در صنعت برای **تهیهٔ فلز سدیم** به کار می‌رود. در این سلول، برقکافت **سدیم کلرید مذاب** انجام می‌شود.



www.Gajmarket.com

تصویرخانه

شکل زیر مراحل **تهیهٔ منیزیم** از آب دریا را نشان می‌دهد. به شکل دقت کنید تا نکات را با هم بررسی کنیم:



۱ ابتدا یون Mg^{2+} محلول در آب دریا را با یون OH^- به‌صورت **رسوب** $Mg(OH)_2$ درمی‌آورند: $Mg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow Mg(OH)_2(s)$

۲ پس از جدا کردن $Mg(OH)_2$ و صاف کردن آن، این مادهٔ جامد را با محلول **هیدروکلریک اسید** واکنش می‌دهند تا $MgCl_2(aq)$ ایجاد شود:

$$Mg(OH)_2(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + 2H_2O(l)$$

۳ پس از حرارت دادن ابتدا $MgCl_2$ خشک شده و سپس با حرارت بیش‌تر $MgCl_2$ به‌صورت **مذاب** درآمده و یون‌های $Mg^{2+}(l)$ و $Cl^-(l)$ ایجاد می‌شود:

$$MgCl_2(aq) \xrightarrow{\text{حرارت}} MgCl_2(s) \xrightarrow{\text{حرارت}} Mg^{2+}(l) + 2Cl^-(l)$$

۴ در $MgCl_2(l)$ واکنش آندی و کاتدی به‌صورت زیر انجام می‌شود:

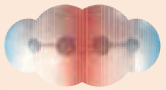
واکنش کاتدی (قطب منفی) (کاتد) (کاهش) $Mg^{2+}(l) + 2e^- \rightarrow Mg(l)$

واکنش آندی (قطب مثبت) (آند) (اکسایش) $2Cl^-(l) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

۵ گاز کلر تولیدشده پس از خشک کردن جمع‌آوری می‌شود و منیزیم هم پس از سرد شدن به‌صورت فلز منیزیم $Mg(s)$ جمع‌آوری می‌شود.

www.Gajmarket.com

مرور نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی در چند مولکول

نام	فرمول شیمیایی	نقشهٔ پتانسیل الکتروستاتیکی	(- δ)	(+ δ)	توزیع بار	قطبیت
اتین	C_2H_2		کربن‌ها	هیدروژن‌ها	متقارن	ناقطبی
کربونیل سولفید	SCO		اکسیژن	کربن و گوگرد	نامتقارن	قطبی
گوگرد تری‌اکسید	SO_3		اکسیژن‌ها	گوگرد	متقارن	ناقطبی
آمونیاک	NH_3		نیتروژن	هیدروژن‌ها	نامتقارن	قطبی
کلروفرم	$CHCl_3$		کلرها	کربن و هیدروژن	نامتقارن	قطبی
کربن تتراکلرید	CCl_4		کلرها	کربن	متقارن	ناقطبی

ضمیمه ۱ مواد

دهم:

ماده	توضیحات
$^{14}_{6}C$	خاصیت پرتوزایی دارد و با آن سن اشیای قدیمی و عتیقه‌ها را تخمین می‌زنند.
تکنسیم ($^{99}_{43}Tc$)	برای تصویربرداری پزشکی کاربرد دارد.
اورانیم (^{235}U)	به عنوان سوخت در راکتورهای اتمی به کار می‌رود.
^{59}Fe	در تصویربرداری از دستگاه گردش خون استفاده می‌شود.
گلوکز نشان‌دار	در تصویربرداری از بافت‌های سرطانی استفاده می‌شود.
لیتیم (Li)	رنگ شعلهٔ قرمز دارد. جرم اتمی آن بر حسب amu برابر ۷ است. کم‌ترین چگالی را در میان فلزها دارد. کم‌ترین E° را در میان فلزها دارد. باتری ساخته‌شده از آن سبک و کوچک است و توانایی ذخیرهٔ انرژی زیادی دارد. در باتری‌های دگمه‌ای، تلفن و رایانه به کار می‌رود.
کلسیم اکسید (CaO)	نام دیگر آن آهک است. برای کنترل اسیدی بودن آب دریاچه استفاده می‌شود. برای افزایش بهره‌وری در کشاورزی به خاک می‌افزایند؛ تا مقدار و نوع مواد معدنی در دسترس گیاه تغییر کند.

www.Gajmarket.com

گاز نیتروژن (N_2)	به جوّ بی‌اثر مشهور است. برای پر کردن تایر خودروها استفاده می‌شود. در صنعت سرماسازی برای انجماد مواد غذایی کاربرد دارد. برای نگهداری نمونه‌های بیولوژیک در پزشکی استفاده می‌شود. اصلی‌ترین جزء سازندهٔ هواکره با واکنش‌پذیری کم است. به طور معمول با اکسیژن واکنش نمی‌دهد اما هنگام رعد و برق با هم تولید اکسیدهای نیتروژن را می‌کنند. حجم بادکنک پر شده در نیتروژن مایع به شدت کاهش می‌یابد. در مقایسه با اکسیژن از نظر شیمیایی غیرفعال‌تر و واکنش‌ناپذیرتر است. هر چند واکنش‌پذیری ناچیزی دارد، اما در صنعت، مواد گوناگونی از آن تهیه می‌کنند که آمونیاک مهم‌ترین آن‌هاست. نقطهٔ جوش آن ۱۹۶- درجهٔ سانتیگراد است.
گاز آرگون (Ar)	به عنوان محیط بی‌اثر در جوشکاری، برش فلزها و در ساخت لامپ‌های رشته‌ای به کار می‌رود. گازی بی‌رنگ، بی‌بو و غیرسمی است.
گاز هلیم (He)	در پر کردن بالن‌های تفریحی، هواشناسی و تبلیغاتی کاربرد دارد. در جوشکاری وکپسول غواصی کاربرد دارد. مهم‌ترین کاربرد آن خنک‌کنندهٔ قطعات الکترونیکی در دستگاه‌های تصویربرداری مانند MRI است. در کرهٔ زمین مقدار خیلی کمی از آن یافت می‌شود به طوری‌که مقدار ناچیزی از آن در هوا و مقدار بیش‌تری در لایه‌های زیرین پوستهٔ زمین وجود دارد. از واکنش‌های هسته‌ای در ژرفای زمین تولید می‌شود. ۷ درصد حجمی از مخلوط گاز طبیعی را تشکیل می‌دهد که به همراه سایر فراورده‌های سوختن بدون مصرف وارد هواکره می‌شود. علاوه‌بر هوای مایع می‌توان آن را از تقطیر جزءبه‌جزء گاز طبیعی نیز به‌دست آورد.

www.Gajmarket.com

اکسیژن (O_2)	یکی از مهم‌ترین گازهای تشکیل‌دهندهٔ هواکره است. در هواکره به‌صورت مولکول‌های O_2 وجود دارد. در آب‌کره با ترکیب با هیدروژن به‌صورت آب وجود دارد. در سنگ‌کره به‌صورت ترکیب با سایر عناصر و عمدتاً در مخلوط سنگ‌ها وجود دارد. در ساختار همهٔ مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها وجود دارد. گازی واکنش‌پذیر است و با اغلب عنصرها و مواد واکنش می‌دهد. بخش قابل توجهی از واکنش‌های شیمیایی که پیرامون ما رخ می‌دهد به خاطر وجود گاز اکسیژن در هوا است. فشار گاز اکسیژن هوا در سطح زمین حدود $۲۰/۹ \times ۱۰^{-۲}$ اتمسفر است. با افزایش ارتفاع فشار اکسیژن کم می‌شود به همین علت کوهنوردان هنگام صعود به ارتفاعات، کپسول اکسیژن حمل می‌کنند.
کربن مونوکسید (CO)	گاز بی‌رنگ، بی‌بو و بسیار سمی است. چگالی این گاز کم‌تر از هوا است. قابلیت انتشار آن در محیط بسیار زیاد است. میل ترکیب هموگلوبین خون با این گاز بسیار زیاد و بیش از ۲۰۰ برابر اکسیژن است که این ویژگی باعث مسمومیت و فلج شدن سامانهٔ عصبی می‌شود.
پلاتین (Pt)	کاتالیزگر واکنش $۲H_۲(g) + O_۲(g) \rightarrow ۲H_۲O(g)$ است. در نیم‌سلول استاندارد هیدروژن به عنوان الکترود استفاده می‌شود.
بوکسیت	$Al_۲O_۳$ به همراه ناخالصی
هماتیت	$Fe_۲O_۳$ به همراه ناخالصی

www.Gajmarket.com

ضمیمه ۲ واکنش‌ها

دهم:

۱ انرژی + آب + کربن دی‌اکسید → اکسیژن + چربی‌ها یا قندها

۲ (نور و گرما) انرژی + بخار آب + کربن دی‌اکسید + گوگرد دی‌اکسید → زغال‌سنگ + اکسیژن

۳ $2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)$

۴ $2Mg + O_2 \xrightarrow{\Delta} 2MgO$

۵ $S + O_2 \xrightarrow{\Delta} SO_2$

۶ $4Na + O_2 \xrightarrow{\Delta} 2Na_2O$

۷ کربن + اکسیژن → کربن دی‌اکسید

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$

۸ $2H_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{Pt(s)} 2H_2O(l)$

۹ فلز نقره + گوگرد → نقره سولفید

$2Ag(s) + S(s) \rightarrow Ag_2S(s)$

۱۰ $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$

۱۱ $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$

۱۲ $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$

۱۳ $C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

۱۴ $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$

۱۵ $4C_3H_5N_3O_9 \rightarrow 12CO_2 + 10H_2O + O_2 + 6N_2$

۱۶ $4Fe(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s)$

تبدیل CO_2 به مواد معدنی:

۱۷
$$\begin{cases} CO_2(g) + CaO(s) \rightarrow CaCO_3(s) \\ CO_2(g) + MgO(s) \rightarrow MgCO_3(s) \end{cases}$$

www.Gajmarket.com

۱۸ سوختن بنزین $\rightarrow CO + CO_2 + H_2O$

۱۹ سوختن زغال‌سنگ $\rightarrow CO + CO_2 + H_2O + SO_2$

۲۰ سوختن هیدروژن $\rightarrow H_2O$

۲۱ سوختن گاز طبیعی $\rightarrow CO + CO_2 + H_2O$

۲۲ $2O_3(g) \rightleftharpoons 3O_2(g)$

نحوهٔ تشکیل اوزون تروپوسفری:

۲۳ $N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$ } هنگام رعدوبرق

$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ }

$NO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{\text{نور خورشید}} NO(g) + O_3(g)$

۲۴ $2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g)$

۲۵ $C_6H_{12}O_6(aq) + 6O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l) +$ انرژی

۲۶ $2H_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{\text{کاتالیزگر یا جرقه}} 2H_2O(l)$

۲۷ $H_2(g) + N_2(g) \xrightarrow{\text{کاتالیزگر یا جرقه}}$ واکنشی رخ نمی‌دهد.

۲۸ $3H_2(g) + N_2(g) \xrightarrow[450^\circ C, 200atm, \text{کاتالیزگر } Fe]{\text{شرایط بهینه}} 2NH_3(g)$

۲۹ $Si + 2Cl_2 \rightarrow SiCl_4$

۳۰ $2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_2 + 2H_2O$

۳۱ $2Al(s) + Fe_2O_3(s) \rightarrow Al_2O_3(l) + 2Fe(l)$

۳۲ $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$

۳۳ $CaCl_2 + 2NaF \rightarrow 2NaCl + CaF_2$

اکسایش چربی ذخیره‌شده در کوهان شتر:

۳۴ $2C_{57}H_{110}O_6(s) + 163O_2(g) \rightarrow 114CO_2(g) + 110H_2O(l)$

واکنش شناسایی یون کلرید (Cl^-):

۳۵ سدیم نیترات + رسوب سفید نقره کلرید $\rightarrow$ سدیم کلرید + نقره نیترات

$AgNO_3(aq) + NaCl(aq) \rightarrow AgCl(s) + NaNO_3(aq)$

واکنش شناسایی یون کلسیم (Ca^{2+}):

۳۶ رسوب کلسیم فسفات + سدیم کلرید $\rightarrow$ کلسیم کلرید + سدیم فسفات

$2Na_3PO_4(aq) + 3CaCl_2(aq) \rightarrow 6NaCl(aq) + Ca_3(PO_4)_2(s)$

www.Gajmarket.com

ضمیمه ۳ عددها

دهم:

عدد	توضیحات
۶۰۰۰	دمای سطح خورشید برحسب $^{\circ}C$
۱۰۰۰۰۰۰۰	دمای درون خورشید برحسب $^{\circ}C$
۵ میلیون	جرمی که در هر ثانیه بر حسب تُن از جرم خورشید کاسته می‌شود.
۵ میلیارد	سال‌های دیگری که خورشید می‌تواند نورافشانی کند.
۰/۰۰۲۴	مقدار گرم ماده‌ای که در تبدیل هیدروژن به هلیم به انرژی تبدیل می‌شود.
۳	تعداد هم‌مکان‌ها (ایزوتوپ) منیزیم
۱۱۸	تعداد عناصر شناخته‌شده
۹۲	تعداد عناصری که در طبیعت یافت می‌شوند.
۲۶	تعداد عناصر ساختگی
۰/۷	درصد فراوانی ^{235}U در مخلوط طبیعی کم‌تر از این عدد است.
۷	تعداد دوره‌های جدول تناوبی
۱۸	تعداد گروه‌های جدول تناوبی
۱/۰۰۸	جرم اتمی هیدروژن بر حسب amu یا u
۱	جرم تقریبی نوترون و پروتون بر حسب amu
$\frac{1}{2000}$	جرم تقریبی الکترون بر حسب amu
۰/۰۰۰۵	جرم الکترون بر حسب amu
۱/۰۰۷۳	جرم پروتون بر حسب amu
۱/۰۰۸۷	جرم نوترون بر حسب amu
۷	جرم اتم $^{7}_{3}Li$ بر حسب amu
$1/66\times10^{-24}$	جرم یک اتم هیدروژن یا هر amu بر حسب گرم

www.Gajmarket.com

ضمیمه ۴ رنگ‌ها

دهم:

ماده / توضیح	رنگ
رادون	گاز بی‌رنگ
نور خورشید	سفید رنگ / تجزیه شود: گستره‌ای پیوسته از رنگ‌ها
بخار سدیم	نور زرد
نئون	سرخ رنگ
شعلهٔ فلز سدیم و ترکیب‌هایش	زرد رنگ
شعلهٔ فلز مس و ترکیب‌هایش	سبز رنگ
شعلهٔ فلز لیتیم و ترکیب‌هایش	سرخ رنگ
انتقال الکترون از لایهٔ ۳ به ۲	قرمز
انتقال الکترون از لایهٔ ۴ به ۲	سبز
انتقال الکترون از لایهٔ ۵ به ۲	آبی
انتقال الکترون از لایهٔ ۶ به ۲	بنفش
آرگون	گاز بی‌رنگ
هلیم	گاز بی‌رنگ
سوختن ناقص	رنگ شعله زرد
سوختن کامل در اکسیژن کافی	رنگ شعله آبی
کربن مونوکسید	گاز بی‌رنگ
سوختن گرد آهن	نارنجی
سوختن منیزیم	سفید
سوختن گوگرد	آبی
سوختن سدیم	زرد
زنگ آهن	قهوه‌ای رنگ
آهن (II) کلرید	سبز رنگ
آهن (III) کلرید	آجری

www.Gajmarket.com